

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Snížení zmetkovitosti a zvýšení produktivity při výrobě čipů

Decrease Scrap Rate and Increase Productivity in Production
of Chips

Student:

Bc. Michal Martinka

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Josef Novák, CSc.

Ostrava 2011

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Martinka**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Téma: **Snížení zmetkovitosti a zvýšení produktivity při výrobě čipů**
Decrease Scrap Rate and Increase Productivity in Production of Chips

Zásady pro vypracování:

1. Analýza současného stavu
2. Posouzení současného stavu především z hlediska kvality a produktivity
3. Specifikace problému
4. Návrhy řešení
5. Celkové zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


Organizace a řízení [online]. Ostrava: FS, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008– . [cit.2008-12-14]. URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/organizace-a-rizeni.pdf>
NOVÁK, Josef. *Datová základna pro údržbu, montáže a další pomocné a obslužné práce: soubor základních technologických postupů*. Ostrava 2004, 266 s.
Ekonomika a řízení provozů [online]. Ostrava: FS, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008– . [cit.2008-12-14]. URL: <http://www.fs.vsb.cz/euprojekty/414/ekonomika-a-rizeni-provozu.pdf>
TOMEK, Gustav. VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby*. Grada Publishing, 1999. 439 s. ISBN 80-7169-578-5
KOŠTURIÁK, Ján. a kol. *Projektovanie výrobných systémov pre 21. storočie*. Žilina: EDIS 2000, 397 s. ISBN 80-7100-553-3

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Josef Novák, CSc.**

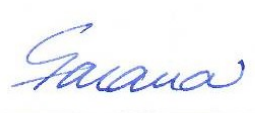
Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry






prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřisečné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 1. května 2011


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, же Высoкá škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было сjeднáно, же с ВШБ-ТУО, в пpипаде зájму з její strany, узавpу лиценční сmlouvu с оупpáвнeніm užít dílo в rozsahu § 12 odst. 4 ауторскého zákона.
- было сjeднáно, же užít své dílo – дипломovou пpáci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mоhу jen se souhlasem ВШБ-ТУО, která je оупpáвněна в takovém пpипаде оd mne požаdоvаt пpіměřený пpіspěvek на úhrаdu nákladů, které byly ВШБ-ТУО на vytvoření díla vynaloжены (аž до jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, же оdevzdáním své пpáce souhlasím se зveřejněním své пpáce podle zákона č. 111/1998 Sb., о vysokých školách а о змeнe а доплnění dalších zákonů (закон о vysokých školách), в зне́ні поздejších пpедписů, без оhледu на výsledек její обhаjоbу.

V Ostravě 1.května 2011

Adresa trvalého pobytu:

Zadní 308

78815 Velké Losiny



.....
Bc. Michal Martinka

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Josefu Novákovi, CSc. za jeho cenné rady. Dále bych chtěl vyslovit poděkování týmu technologie, mým kolegům, firmy Epcos s.r.o., kteří mi vždy ochotně vycházeli vstříc při poskytování potřebných informací při vypracování diplomové práce.

Martinka Michal

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Martinka, M. *Snížení zmetkovitosti a zvýšení produktivity při výrobě čipů: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2011, 79 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Novák, CSc.

Diplomová práce se zabývá snížením zmetkovitosti a zvýšením produktivity při výrobě čipů. Úvodem se věnuji teorii PTC a následně se zaměřuji na všechny výrobní procesy od popsání procesu, analýzy současného stavu, příčiny zmetkovitosti a následného zavedení nápravných opatření. Součástí diplomové práce je také zvýšení produktivity na výrobních usecích, které byly z hlediska nárůstu objednávek limitující. K vyhodnocení dat a prezentaci zjištěných údajů byl použit statistický program Minitab.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Martinka, M. *Decrease Scrap Rate and Increase Productivity in Production of Chips: Master Thesis*. Ostrava : VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of mechanical technology, 2011, 79 p. Thesis head: doc. Ing. Josef Novák, CSc

Master thesis is dealing with decrease scrap rate and increasing of the productivity in production of chips. At the beginning of thesis there are basic informations about PTC and after it I'm focusing on production processes from the decription, analysis of actual situation, causes of scrap rate and implementation of the preventive actions. Part of the thesis is also increasing of the productivity in processes, which were because of increasing of orders limiting. To the evaluation of data and presentation of founded statements was used statistic program Minitab.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
0 Úvod.....	10
1 Obecná charakteristika řešeného problému	11
1.1 Epcos s.r.o.	11
1.1.1 Vývoj počtu zaměstnanců	12
1.1.2 Sloučení s TDK.....	13
1.2 Co je to PTC (pozistor)?	13
1.2.1 Úvod.....	13
1.2.2 Základní vlastnosti	14
1.2.3 Materiál	18
1.2.4 Aplikace PTC.....	23
1.3 SMD Čipy	33
1.3.1 Rozdělení čipů	33
1.3.2 Aplikace	34
1.3.3 Flowchart výroby	34
1.3.4 Nové produkty rodiny čipů	35
1.3.5 Nárůst zakázek čipů	35
1.3.6 Zákazníci	35
1.4 Statistická regulace procesu (SPC)	36
1.4.1 Co je to SPC?	36
1.4.2 Statistický program Infinity QS	36
1.5 Minitab	37
1.6 Statistické funkce	37
1.6.1 Paretova analýza	37
1.6.2 Histogram.....	38
1.6.3 ANOVA – analýza rozptylu	38
1.6.4 Normality test	39
1.6.5 Regresní analýza	39
1.6.6 DOE – plánovaný experiment.....	39
1.6.7 Boxplot – krabicový graf	39
2 Analýza současného stavu	41
2.1 Přehled vad.....	41
2.1.1 D5.....	41
2.1.2 D9.....	41
2.2 Lisování.....	42
2.2.1 Proces lisování.....	42
2.2.2 Lisy pro SMD čipy	42
2.2.3 Procesní kontrola	43
2.2.4 Optická kontrola výlisků.....	43
2.2.5 Nositelé zmetkovitosti	44
2.2.6 Nevýhody.....	44
2.3 Výpal	45
2.3.1 Proces výpalu.....	45
2.3.2 Výpal SMD čipů	46
2.3.3 Procesní kontrola	46
2.3.4 Nositelé zmetkovitosti	48
2.3.5 Nevýhody.....	48
2.4 Lapování (pouze čipové substráty)	49
2.4.1 Proces lapování	49
2.4.2 Nositelé zmetkovitosti	49

2.5	Dělení (pouze čipové substráty).....	50
2.5.1	Proces dělení	50
2.6	Omílání + sušení	51
2.6.1	Proces omílání + sušení	51
2.6.2	Nositelé zmetkovitosti	51
2.6.3	Nevýhody.....	51
2.7	Optická kontrola.....	52
2.7.1	Produktivita např. velikosti 1210.....	52
2.7.2	Nositelé zmetkovitosti	52
2.7.3	Nevýhody.....	52
2.8	Proces naprašování - magnetronové naprašování	53
2.8.1	Standardní postup pro mass-k: velikost čipů 0805	54
2.8.2	Specifikace pro mass-k	54
2.8.3	Nositelé zmetkovitosti	55
3	Návrhy řešení	56
3.1	Lisování.....	56
3.2	Výpal	56
3.3	Omílání.....	56
3.4	Optická kontrola.....	56
3.5	Naprašování.....	56
3.6	Změna výrobního postupu pro velikost čipů 0805	56
4	Realizace řešení	57
4.1	Lisování.....	57
4.1.1	Snížené rozptylu mezi jednotlivými razníky	57
4.1.2	Chybovník pro čipy separátně	57
4.1.3	Preventivní opatření proti kontaminaci olejem.....	58
4.1.4	Prevence proti ztrátě granulátu	59
4.2	Výpal	60
4.2.1	Výpal na více pater	60
4.2.2	Nová výstavba čipových substrátů – výstavba ve štočcích	63
4.2.3	Měření čipových substrátů na hraně	64
4.3	Omílání + sušení	65
4.3.1	Výkonnější omílačka:	65
4.3.2	Navýšení počtu omílacích bubnů.....	65
4.4	Optická kontrola.....	66
4.4.1	Automatizace	66
4.4.2	Hledání příčiny výlupků	69
4.5	Naprašování.....	70
4.5.1	Nový dodavatel sputterovacích lísek	70
4.5.2	Snížení outlierů u velikosti čipů 0805	71
4.5.3	Informovanost operátorů.....	72
4.5.4	Vliv velikosti mass-k na odpor u velikosti čipů 0603	73
4.5.5	Použití rozdílných distančních desek pro jednotlivé strany mass-k	73
4.5.6	Optimalizace pocesu mass-k pro 0805	74
4.6	Velikost čipů 0805 ze substrátu	75
5	Technicko-ekonomické zhodnocení	76
6	Seznam použité literatury	78

Seznam použitých značek a symbolů

<u>Veličina</u>	<u>Význam</u>	<u>Jednotka</u>
A	Povrch	m^2
C	Kapacita	$\text{As V}^{-1} \equiv \text{F}$
C_S	Kapacita bariérových vrstev	$\text{As V}^{-1} \equiv \text{F}$
c	Curieho konstanta	K
e	Elektrický elementární náboj ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$)	As
I	Intenzita elektrického proudu	A
n	Koncentrace vodivých elektronů	m^{-3}
P	Elektrický výkon	$\text{VA} \equiv \text{W}$
R	Elektrický odpor	$\text{VA}^{-1} \equiv \Omega$
R_S	Odpor bariérových vrstev	Ω
R_{max}	Maximální odpor	Ω
R25	Odpor při 25°C	Ω
R_{min}	Minimální odpor	Ω
R_V	Odpor objemu	Ω
U	Elektrické napětí	V
W	Tepelný odpor	$\text{KV}^{-1} \text{ A}^{-1}$
Z	Zdánlivý odpor	V A^{-1}
α_R	Teplotní koeficient elektrického odporu	K^{-1}
ϵ_r	Číslo permitivity	1
T	Teplota	°C
T_B	Referenční teplota	°C
T_C	Curieho teplota	°C
T_K	Teplota pozistoru	°C
T_U	Teplota okolí	°C
μ_n	Pohyblivost vodivých elektronů	$\text{m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$
ω	Kruhová frekvence ($\omega = 2\pi f$)	s^{-1}

0 Úvod

Finanční krize postihla Epcos s.r.o. na konci roku 2008 jako většinu společností v České republice a na celém světě. Hlavním průvodním jevem současné finanční krize je velké snížení poptávky, které zasáhlo v podstatě všechny průmyslové sektory, ale i domácnosti. Daleko horší dopad než samotná finanční krize má související krize důvěry. Na trzích nastala situace, kdy se velké množství potenciálních zákazníků nakonec zákazníky nestali, protože se obávali, co jim přinese budoucnost.

Společnosti se musí snažit o neustálé zvyšování produktivity práce s cílem zlepšování ekonomických výsledků i zvyšování konkurenceschopnosti. V podstatě se jedná o to, aby vyráběly na neustále vyšší úrovni, efektivnějšími technologickými postupy, lepší organizací práce a výroby. Zdokonalení systému výroby je založeno na optimálním a maximálním využití výrobních zařízení s minimálními požadavky na vstupy a s cílem dosahovat co nejhospodárnějšího efektu. To znamená zvýšení kvality a technické úrovně výrobků při snížení nákladů. V této diplomové práci se zabývám jak kvalitativní, tak i kvantitativní stránkou výroby PTC čipů v nadnárodní společnosti Epcos s.r.o..

1 Obecná charakteristika řešeného problému

Diplomová práce se zabývá řešením reálného problému společnosti Epcos s.r.o., která je významným světovým výrobcem elektronických součástek. V diplomové práci se věnuji produkci čipů divize KB společnosti Epcos s.r.o..

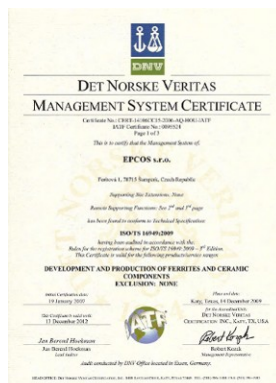
Ve firmě Epcos s.r.o. pracuji jako technolog výpalu a jednou z mých zodpovědností je produkce čipů. Cílem diplomové práce jsou kvalitativní, ale i kvantitativní, neboť poptávka po čipech neustále roste a cíle každé firmy jsou vyrobit, co nejrychleji, nejkvalitněji a hlavně co nejlevněji požadované množství kusů zákazníkem. Zadáním práce je v první řadě detekce vad, nalezení příčin vad, zavedení nápravných opatření a zvýšení produktivity čipů na jednotlivých výrobních úsecích společnosti Epcos s.r.o. pouze v ČR. Při vyhodnocování jednotlivých dat bude používán statický program Minitab, který je v současné době nezbytný pro analýzu dat.

1.1 Epcos s.r.o.

Výroba PTC v SMP se datuje od roku 2005. Mezi lety 2005 až 2008 došlo k transféru výroby PTC z Deutschlandsbergu do Šumperku. V závodu v Deutschlandsbergu z divize KB zůstala pouze výroba granulátu.

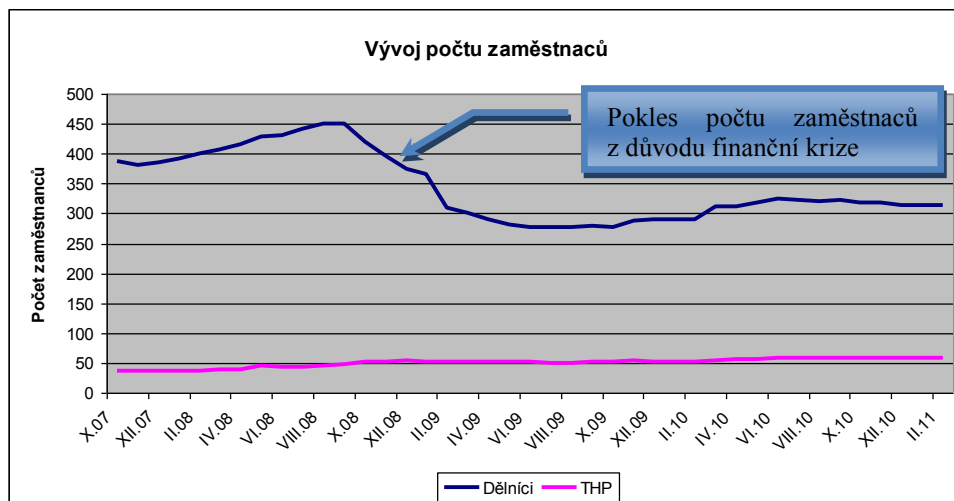


Obr. 1 Epcos s.r.o. v Šumperku



Obr. 2 Certifikát ISO/TS 16949:2009

1.1.1 Vývoj počtu zaměstnanců



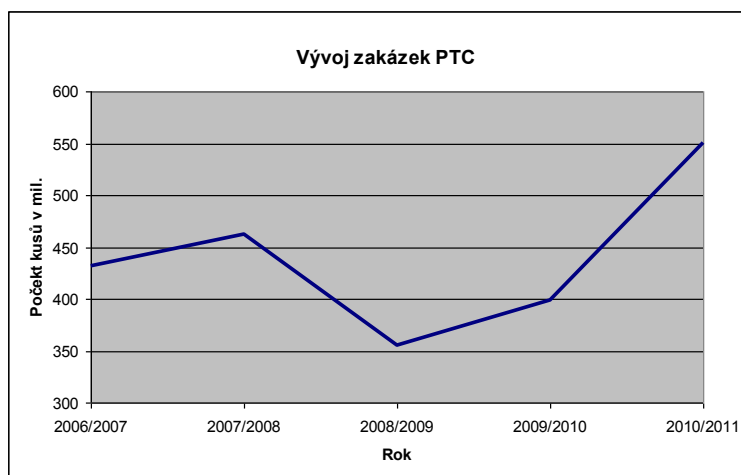
Graf. 1 Vývoj počtu zaměstnanců

Na konci roku 2008 je viditelný pokles počtu zaměstnanců z důvodu finanční krize. Po konci finanční krize již počet zaměstnanců nevzrostl na rok 2008, ikdyž aktuální zakázky převyšují rok 2008, a to z toho důvodu, že během finanční krize jsme se zaměřili na:

- snižování zmetkovitosti
- zvyšování produktivity
- automatizaci procesů

Za zmínku také stojí snižování nákladů za pomocný materiál hledáním nových stejně kvalitních dodavatelů.

Toto nám zajistilo větší konkurenceschopnost na trhu s PTC.



Graf. 2 Vývoj zakázek PTC

1.1.2 Sloučení s TDK

S platností od 1. října 2009 se společnost EPCOS AG, se sídlem v německém Mnichově, sloučila s výrobním sektorem pasivních součástek společnosti TDK, se sídlem v japonském Tokiu, a společně vytvořili novou firmu TDK-EPC Corporation (zkráceně TDK-EPC) se základnou v Japonsku. Od konce října 2009 jsou všechny akcie EPCOS AG ve vlastnictví společnosti TDK-EPC Corporation a přidružených společností skupiny TDK. Jako důsledek tohoto propojení bylo umístění akcií EPCOS AG na všech německých burzách cenných papírů začátkem listopadu 2009 ukončeno.

1.2 Co je to PTC (pozistor)?

1.2.1 Úvod

Pozistory jsou odpory s pozitivním teplotním koeficientem. V anglicky mluvících zemích se užívá označení PTC-Thermistor. Takové chování vykazuje většina kovů, i když s velmi malým teplotním koeficientem, i některé monokrystalické polovodiče v určitých teplotních pásmech.

Zvláštní postavení zaujímá keramický pozistor na bázi titaničitanu barnatého. U něj byly zjištěny velmi vysoké kladné teplotní koeficienty (až $0,3 \text{ K}^{-1}$) v teplotním pásmu širokém asi 100 až 150 K. Úplná změna odporu v tomto pásmu může činit víc než šest řádů. Toto zvláštní chování otevřelo cestu keramickému pozistoru k řadě možných použití, jejichž požadavky by bylo možné splnit jiným způsobem pouze s výrazně vyššími náklady.

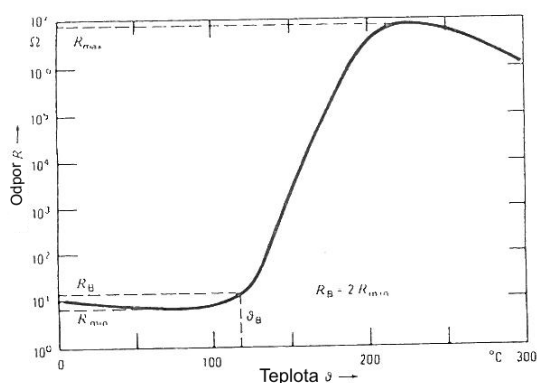
Objevení tohoto pozistorového efektu nelze přesně časově určit. Už okolo roku 1940 bylo známo, že titaničitan barnatý vykazuje zvláštní vlastnosti, jako feroelektřinu, piezoelektricitu, a mimořádně vysoké číslo permitivity. V popředí zájmu stálo nejprve využití jako kondenzátorové dielektrikum, které samozřejmě také předpokládá dobré elektrické izolační schopnosti. Za určitých výrobních podmínek může titaničitan barnatý přijmout také vlastnosti polovodiče. Do té doby, než byly tyto podmínky přesně známy, existovalo tu při výrobě keramických kondenzátorů nebezpečí závažných poruch. Bylo pochopitelné, že se výrobci těchto kondenzátorů zajímali o vysvětlení příčin poruch a proto blíže zkoumali vznik polovodivosti u titaničitanu barnatého. Přitom museli narazit také na pozistorový efekt. Přece jen trvalo asi dalších deset let, než byl rozpoznán praktický význam tohoto efektu. Od té doby se značně vylepšil a dnes může být přizpůsoben v široké oblasti požadavků aktuální aplikace.

1.2.2 Základní vlastnosti

1.2.2.1 Charakteristika odpor-teplota

Jak již bylo zmíněno, objevuje se kladný teplotní koeficient u keramického pozistoru jen v úzkém teplotním pásmu. Mimo toto pásmo je naproti tomu teplotní koeficient záporný, jak se od polovodiče všeobecně očekává. Jeho nosiče náboje jsou při nízkých teplotách vázány na atomy nebo ionty materiálu a jsou odděleny teprve při přívodu termické energie, aby přispívaly k elektrické vodivosti. Pozistorový efekt se proto jeví jako anomálie, která nemůže být pochopena ze základních jevů fyziky polovodičů.

Graf. 3 ukazuje typický průběh odporu jako funkci teploty při malém napětí. Omezení se zřetelem na napětí, které působí na pozistor je nutné, protože odpor je závislý také na napětí, což je vysvětlováno ještě blíže v dalším odstavci. Tento efekt se může být ovšem zanedbatelný, jestliže napětí intenzity pole není víc než 10 V/cm.



Graf. 3 Charakteristika odpor-teplota keramického pozistoru ($T_B = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Jak je u Graf. 3 patrné, probíhá odpor dvěma extrémními hodnotami R_{\max} a R_{\min} , při kterých mění teplotní koeficient své znaménko. Důležitým znakem kvality je u pozistoru poměr R_{\max}/R_{\min} , který udává prakticky využitelný posun odporu. Ten může, jak již bylo uvedeno, ležet nad 10^6 . Teplotní pásmo mezi oběma extrémními hodnotami odporu, tedy vlastní pásmo pozistoru, se dá vhodnou volbou složení keramiky posouvat k dalším mezím. Pro charakteristiku pozistoru je proto potřeba také údaj o poloze tohoto teplotního pásma. K tomuto účelu se vžilo přiblížit se takové teplotě, při které je odpor dvojnásobkem minimální hodnoty R_{\min} . Tato teplota je označována jako „referenční teplota“ nebo „jmenovitá teplota“ (T_B). Spektrum referenčních teplot komerčních pozistorů sahá od -30 až k $+250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Dalším důležitým parametrem je teplotní koeficient odporu,

Vzorec 1

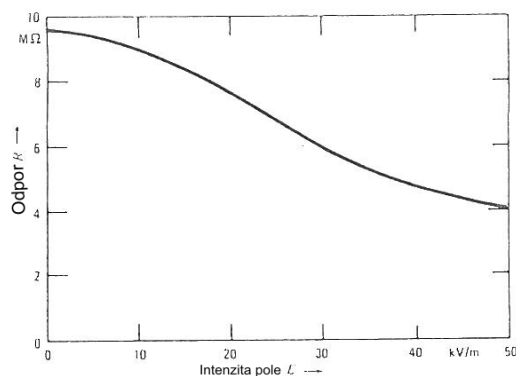
$$\alpha_R = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT}$$

který je u keramického pozistoru silně závislý na teplotě. Ve většině případů použití se pracovní bod položí do co možná nejpříkřejší části charakteristiky, aby mohla být plně využita zvláštní vlastnost keramického pozistoru, vysoká hodnota teplotního koeficientu. Tato maximální hodnota je proto prakticky nejzajímavější veličina, kterou lze mimoto velmi lehce stanovit z charakteristiky, jak je znázorněno na Graf. 3, protože v takovém zobrazení s logaritmickou stupnicí odporu vstupuje největší strmost do části křivky přibližující se přímce. Nejvyšší dosažitelné hodnoty teplotního koeficientu závisí na referenční teplotě. Pro $T_B = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ může být dosaženo $\alpha_R = 0,3\text{ K}^{-1}$, pro zvláštní použití jsou možné ještě vyšší hodnoty. Posunutí referenční teploty nahoru nebo dolů je sice zásadně spojeno se snížením teplotního koeficientu, ale pro všechny typy zůstává $\alpha_R \geq 0,1\text{ K}^{-1}$.

1.2.2.2 Vliv napětí a frekvence

Odpor keramického pozistoru klesá při konstantní teplotě se stoupající intenzitou elektrického pole (Graf. 4). Tento varistorový efekt (varistor: odpor závislý na napětí) je zvláště markantní ve vysoce ohmovém režimu, zvláště při teplotách v okolí maxima charakteristiky R-T. Odtud klesá se stoupající intenzitou pole stále i poměr R_{\max}/R_{\min} , což je v některých případech použití považováno za rušivé. Snažíme se proto držet varistorový efekt co možná nejnižší. Jeho úplné odstranění není podle současného stavu vědění o základních fyzikálních mechanismech pozistorového efektu možné.

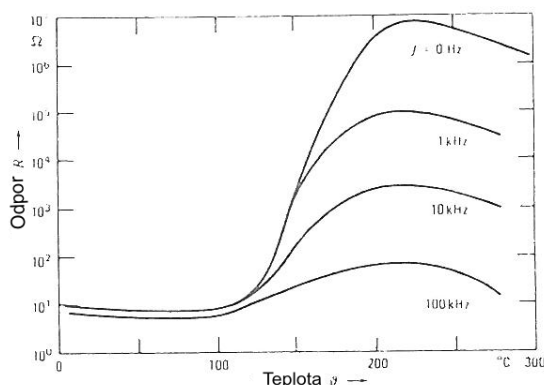
V technické dokumentaci o pozistorech nenajdeme zpravidla žádné údaje o tom, že je odpor závislý na napětí. Příčina spočívá v tom, že měření, která jsou potřebná např. ke stanovení křivek zobrazených na Graf. 4, smějí být prováděna pouze krátkými napěťovými impulzy, protože jinak by se vlastním ohřevem pozistoru zkreslily výsledky, zvláště při vysoké intenzitě pole. Takový impulzový chod se ale v praxi vyskytne pouze zřídka. Tady se dokonce často využívá vlastní ohřev. Adekvátní popis pro chování pozistoru v takovém případě podává ustálená charakteristika proud-napětí, která zohledňuje kromě závislosti odporu na teplotě a napětí také výdej tepla do okolí.



Graf. 4 Odkaz pozistoru ako funkcie intenzity poľa pri teplote maximálneho odkazu

Charakteristiky, o ktorých jsme doposud mluvili, se stanovují normálně za stejnosměrného napětí, ovšem pro praktické použití je ve větším zájmu také provoz za střídavého napětí, především při frekvenci 50 Hz. V této souvislosti vyvstává otázka, zda je odporu pozistoru závislý na frekvenci.

K tomuto podává informaci Graf. 5. Tady se zvolilo měřicí napětí obdobně k Graf. 3, tak malé, že se může varistorový efekt považovat za zanedbatelný. Poznáváme, že vliv frekvence při teplotě maximálního odporu je nejvyšší, zatímco pod referenční teplotou prakticky zmizí. Poměr odporu stále i poměr R_{\max}/R_{\min} proto se stoupající frekvencí silně klesá. Při 50 Hz je tento efekt ovšem ještě relativně malý, tak že v praxi smíme většinou vycházet z charakteristik stejnosměrného proudu.



Graf. 5 Odkaz pozistoru jako funkce teploty pro různé frekvence ($T_B = 120\text{ °C}$)

1.2.2.3 Náhradní schéma el. obvodu a modelové představy

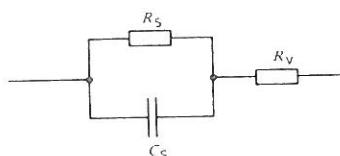
Závislost odporu na frekvenci zobrazené na Graf. 5 se přibližuje náhradnímu schématu, podle něhož je vlastní odpor pozistoru R (stanovený stejnosměrným měřením) zapojený paralelně kapacitě C . Odpor střídavého proudu pozistoru chápeme tímto jako zdánlivý odpor Z tohoto paralelního zapojení:

Vzorec 2

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

Jak již bylo uvedeno na začátku, má titaničitan barnatý velmi vysoké číslo permitivity v řádech 10^3 . Určení kapacity (Vzorec 2) za použití změřené frekvenční závislosti zdánlivého odporu vede ovšem k hodnotám čísla permitivity, které leží ještě minimálně o jeden řád výše.

Tento nepoměr již dává tušit, že u pozistoru, alespoň u vysoce ohmového režimu, existuje silná nehomogenost vodivosti. Podle této představy je vlastní pozistorový efekt umístěn do tenkých vrstev materiálu, zatímco zbývající oblasti vykazují nízký předřadný odpor sotva závislý na teplotě. Okolnost, že na monokrystalech z dotovaného titaničitanu barnatého nelze při pečlivém kontaktování zjistit žádný pozistorový efekt ani již zmíněný varistorový efekt, vedla k předpokladu, že se u těchto tenkých vrstev jedná o bariérovou vrstvu na hranicích zrn keramiky. Náhradní schéma je potom nutné doplnit podle Obr. 3. Jednotlivé bariérové vrstvy, shrnuté do sériového zapojení, dávají bariérový odpor R_S a kapacitu bariérových vrstev C_S , zatímco R_V znázorňuje odpor zbývajícího objemu. Poslední je znatelný jen u teplot pod T_B , protože pouze tady zaujímá R_S srovnatelně nízké hodnoty. Silná teplotní závislost odporu, která je pozistoru vlastní, se omezuje na R_S , takže frekvenční charakteristika zdánlivého odporu je reprezentována prakticky pouze kapacitou C_S . Tato kapacita se ale nyní určuje sumou jednotlivých bariérových vrstev, která je značně menší než celková tloušťka těla pozistoru, čímž je simulována převyšovaná hodnota pro číslo permitivity.



Obr. 3 Zjednodušené náhradní schéma pro keramický pozistor

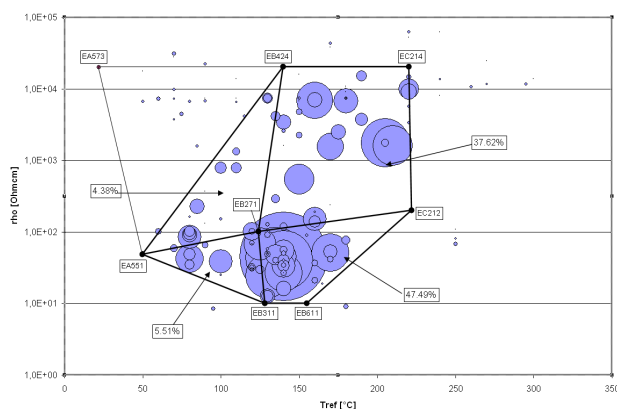
Na těchto modelových představách se zakládá dnes všeobecně uznávaná teorie pozistorového efektu. Předpoklad bariérových vrstev na hranicích zrn keramiky, ze kterého vycházela, se ostatně později dočkal přímého experimentálního potvrzení díky pokusům v emisním elektronovém mikroskopu, pomocí kterého se elektrická pole na povrchu pevných látek stávají viditelnými.

1.2.3 Materiál

1.2.3.1 Chemické složení

Pod titaničitanem barnatým se všeobecně rozumí chemické sloučení formální vazby BaTiO_3 . Označení je ovšem nepřesné, protože v systému BaO-TiO_2 existuje více stabilních sloučenin, tak např. ortotitaničitan barnatý (Ba_2TiO_4) jakož i řada polytitaničitanů, jejichž nejdůležitější, $\text{Ba}_6\text{Ti}_{17}\text{O}_{40}$, hraje významnou roli při výrobě pozistorové keramiky. Hlavní složkou této keramiky je ale na začátku zmíněná sloučenina BaTiO_3 , který by měl být označován jako metatitaničitan barnatý.

V praxi se tento materiál téměř nikdy nepoužívá v čisté formě. Na jedné straně jsou pro výrobu užitečné malé odchylky od exaktního stechiometrického poměru $\text{Ba}:\text{Ti} = 1:1$ (přebytek titanu), na druhé straně se často přidávají příměsi, aby se cíleně ovlivnily elektrické vlastnosti. Tak způsobí např. částečná náhrada baria stronciem příp. olovem nebo titanu zirkonem příp. cínem posun ferroelektrické Curieovy teploty. Toho je využíváno k nastavení teplotního chodu permitivity u keramických kondenzátorových technických látek, ale hraje to důležitou roli i u pozistorů, protože jejich referenční teplota stojí v úzké spojitosti s Curieovou teplotou, jak bude později ještě podrobně vysvětleno. Konečně zvláštní význam má možnost, aby se přidáním určitých přímísenin v nepatrném množství z titaničitanu barnatého, který v čistém stavu elektricky dobře izoluje, vytvořila vodivá látka, protože to je důležitý předpoklad pro výrobu keramických pozistorů.

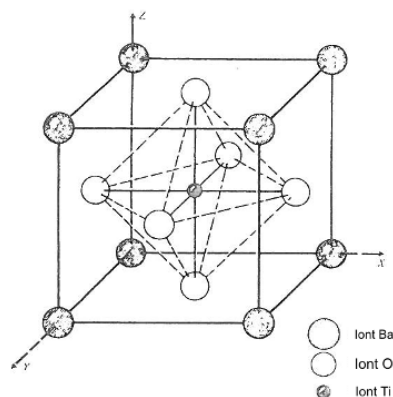


Obr. 4. Různorodost keramických materiálů Epcos s.r.o.

1.2.3.2 Krystalová struktura, ferroelektrina

Titaničitan barnatý krystalizuje ve struktuře Perovskit. Přitom se jedná o krychlovou plošně a prostorově centrovanou krystalickou mřížku, jak zobrazuje Obr. 5. ionty baria obsazují právě vrcholy krychle, jejíž centrum zabírá iont titanu, zatímco poloha iontů

kyslíku je vyznačena průsečíky úhlopříček stěny krychle. Jméno Perowskit se odvozuje od minerálu, který se skládá v podstatě z titaničitanu vápenatého (CaTiO_3). Pro strukturu Perowskit je charakteristické rozmístění současných šesti iontů kyslíku ve tvaru osmistěnu kolem centrálního iontu (zde titan).



Obr. 5 Struktura Perowskit

Exaktní krychlová struktura se u titaničitanu barnatého vyskytuje jen nad $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Při nižších teplotách se vyskytují různé deformace krystalické mřížky. Tak dojde např. při ochlazení pod $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ k reverzibilní proměně do čtyřúhelníkového stavu, který je charakterizován nepatrným prodloužením do jednoho ze tří směrů hran krychle oproti ostatním. S tím je spojen i posun iontů titanu paralelně k prodlouženým hranám krychle a také odpovídající deformace kyslíkové konstrukce. Tím vzniká elektrická polarizace buňky mřížky, pro jejíž popis můžeme považovat posun iontu titanu za reprezentativní. Nyní existují pro každý iont titanu dvě energeticky rovnocenné stabilní pozice symetrické k centrální pozici. Směr posunu je přitom v rámci určitých oblastí (domén), které se mohou podle okolností rozprostírat přes celý krystal, jednotný. Takové domény proto vykazují elektrický dipólový moment. Protože se to uskuteční bez působení vnějšího pole, mluvíme o „spontánní polarizaci“. Připojením vnějšího pole může být ovšem dipólová orientace ovlivněna, přičemž dojde k hysteretzním jevům mezi polarizací a intenzitou pole. Fenomenologicky tu vznikají silné podobnosti k jevům, které můžeme pozorovat u feromagnetických látek, což je vyjádřeno v označení „feroelektřina“.

Feroelektřina tu může být vysvětlena pouze jen tak dalece, jak je nutné pro porozumění pozistorového efektu. V této souvislosti nás zajímají skutečnosti, že nad určitou teplotou, tzv. Curieovou teplotou T_C (u BaTiO_3 asi $120\text{ }^{\circ}\text{C}$), feroelektrické jevy mizí, což je zdůvodněno přechodem k exaktní krychlové krystalické mřížce, a že pro T_C se teplotní závislost čísla permitivity ϵ_r řídí Curieho-Weissovým zákonem.

Vzorec 3

$$\varepsilon_r = \frac{c}{\theta - \theta_c}$$

(c - Curieova konstanta)

1.2.3.3 Příměsi, vodivost

Přestože jsou chemické vazebné síly v titaničitanu barnatém převážně heteropolárního charakteru, krystalická mřížka je tedy sestavena z iontů, nehraje iontová vodivost kvůli zvláště nízké pohyblivosti iontů prakticky žádnou roli. Dále proto bude řeč pouze o elektronové vodivosti.

Vysoká izolační schopnost titaničitanu barnatého bez příměsí nás přivádí zpět především na velkou energetickou mezeru o velikosti asi 3 eV, která má za následek velmi nízkou vlastní vodivost. V současné době je známa řada příměsí, které mohou být jako donory umístěny do krystalické mřížky a odtud vytvářet elektronickou přebytkovou vodivost (n-vodivost). Aktivační energie těchto donátorů leží vesměs pod 0,1 eV, takže již při pokojové teplotě jsou téměř úplně disociované, a každý donor má jeden elektron uvolněný. Přesto nesmí být koncentrace volných elektronů jednoduše pokládána za rovnou koncentrace donorů. To stále záleží na vakantní místa v mřížce, které jsou k dispozici, tedy na volných místech v krystalické mřížce, které ovšem mají značný vliv na elektronovou bilanci. Tak působí např. vakantní místa kyslíku jako donory a mohou proto odevzdat do mřížky elektrony navíc. Protože v titaničitanu barnatém mohou být taková vakantní místa vytvářena velmi lehce, vyvstává otázka, k čemu je vůbec zapotřebí příměsí, protože už oddělením kyslíku, např. redukční atmosférou během procesu výpalu, může být docíleno opravdu vysokých hodnot vodivosti. Elektronická vodivost sama ještě nemá dostatečný význam pro vznik pozistorového efektu. Ten je ale vakantními místy kyslíku citelně poznamenáván. Naopak je dokonce vyžadována určitá koncentrace vakantních míst baria.

Při výrobě keramického pozistoru se tedy musí zabránit redukčním vlivům. Požadovaná základní vodivost materiálu musí být vyrobena přidáním příměsí. Jako příměs jsou vhodné prvky, které mohou přijmout vyšší kladný iontový náboj než ionty v titaničitanu barnatém, které mají být nahrazeny, např. yttrium, lanthan, a jiné vzácné zeminy (přednostně trojmocné) namísto baria (dvoumocný) nebo niob a tantal (přednostně pětimocné) namísto titanu (čtyřmocný). Rozmanitost příměsí, které přicházejí teoreticky v úvahu, je omezena

tím, že ne všechny mohou být dosazeny do krystalické mřížky titaničitanu barnatého. Tady hraje roli např. iontový poloměr.

Nejvyšší dosažitelná vodivost σ za pomoci příměsí v keramice BaTiO_3 leží asi u $10 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$. Přitom je požadovaná koncentrace přímisenin n_D asi $5 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}$. Z měření termoelektrické síly a Hallova jevu známe pohyblivost elektronů v BaTiO_3 , totiž $\mu_n = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$. Pokud se tato hodnota a výše uvedená vodivost dosadí do známého vztahu:

Vzorec 4

$$\sigma = e n \mu_n$$

přičemž $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$ znamená elektrický elementární náboj, takže pro elektronovou koncentraci vyjde $n = 1,25 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3}$, tedy jen 1/40 koncentrace donorů. Zde je patrný kompenzující účinek vakantních míst baria a eventuálně také nečistot s charakterem akceptoru. Takto vypočítaná hodnota koncentrace n ovšem nesmí být chápána jako prostorová konstantní veličina. Již v oddíle 1.2.2.3 zmíněná nehomogenost vodivosti vyžaduje mnohem více také odpovídající nehomogenost koncentrace nosičů.

Principiálně je krystalická mřížka titaničitanu barnatého schopna přijmout ještě vyšší koncentraci přímisenin, což ale u keramiky, na rozdíl od monokrystalů, nevede k dalšímu nárůstu vodivosti. Naopak dojde dokonce k strmému poklesu prakticky až ke stavu izolace. To souvisí s vlivem substancí přímisenin na růst zrna během procesu výpalu.

Dosud jsme si všímali pouze případu n-vodivosti. Důvod spočívá v tom, že p-vodivost (děrové vedení) v titaničitanu barnatém je technicky nevýznamné, protože vede pouze k velmi nepatrné vodivosti. Zato přichází v úvahu mnoho příčin, jako např. malá pohyblivost elektronových děr a velká aktivační energie akceptorů. Rozhodující by ale měla být okolnost, že kompenzace akceptorů vakantními místy kyslíku je prakticky úplná, v rozporu k již zmiňované kompenzaci donorů vakantními místy baria. Jednotlivě je to otázka rovnováhy vakantních míst, jak se nastaví při procesu výpalu při teplotách přes 1000°C , jako funkce teploty a parciálního tlaku kyslíku v okolní atmosféře.

Z toho se ovšem nesmí vyvozovat, že akceptory v pozistorové keramice nemohou hrát žádnou roli. Za prvé má většina běžně se vyskytujících nečistot charakter akceptoru, což musí být vhodně zohledněno při vývoji materiálu, za druhé se prokázalo jako účelné, kvůli šlechtění určitých vlastností se zřetelem na aktuální případ využití cíleně přidávat nepatrné množství příměsí, které mohou tvořit akceptory.

1.2.3.4 Výroba

Pod pojmem keramika se rozumí anorganická, nekovová, polykrystalická pevná látka. Pokud budeme sledovat původní jazykové užívání, nebudeme tuto definici ještě považovat za dostačující, neboť může narazit na horniny, které se vyskytují v přírodě, které ovšem v žádném případě nelze jako keramiku označit. Musíme proto jako další znak přidat syntetickou výrobu. Ta probíhá stále ve třech hlavních stupních – příprava prášku, formování a výpal. V detailu najdeme početné varianty; např. všechny výchozí látky nemusejí být ve formě prášku. Mohou se používat roztoky, což může být výhodné zvláště pro rovnoměrné rozdělení takových příměsí, které se potřebují jen v nepatrném množství, jako např. substance přímísenin. Dále se často doporučuje, přivést za vysoké teploty výchozí látky po důkladném promíchání, ale ještě před formováním, k reakci (předvýpal, přeměna). Potom přichází jemné mletí, které má význam pro reaktivitu prášku při pozdějším výpalu a tím pro vytvoření struktury keramiky.

Takto získaný prášek se většinou za přidání plastifikátoru lisuje do tvaru tablet (často používaným plastifikátorem je např. vodný roztok polyvinylalkoholu). Používají se také ale, podle požadovaného výrobního tvaru, postupy tažení formy a postupy výroby litých fólií.

Nejdůležitějším krokem ve výrobním procesu je proces výpalu. Tímto teprve získává materiál své konečné vlastnosti. Ty nejsou v žádném případě stanoveny již chemickým složením, ale závisí také na různých procesních parametrech, především na podmínkách výpalu. Pro pozistorovou keramiku to platí obzvlášť, protože její elektrické vlastnosti jsou určovány převážně bariérovými vrstvami na hranicích zrn, takže tady získá struktura keramiky rozhodující význam. Pro vytvoření struktury hrály ale právě podmínky výpalu rozhodující roli.

U pozistorové keramiky se používají podle složení a požadovaných vlastností teploty výpalu mezi 1250 a 1400 °C. Nezáleží ovšem pouze na aktuální nejvyšší teplotě, které spečenec dosáhne, a na délce jejího působení, ale také na rychlosti vytápění a chlazení. Především to poslední je, vedle atmosféry výpalu, pro vytvoření bariérových vrstev rozhodující.

Praktické využití pozistorů vyžaduje možnosti elektrického připojení. Nejjednodušší metodou pro připevnění plošných kontaktů je použití kovových preparátů, které lze připéct k tělu keramiky a které obsahují vedle kovových součástí organický nosič a anorganické pojivo. Většinou se nanášejí pomocí sítotisku na vypálené keramické tělo. Připékání probíhá při teplotách mezi 500 a 800 °C. U většiny keramických výrobků se používají

stříbrné preparáty. U pozistorů vedou ale ke komplikacím, protože zapříčiňují bariérové vrstvy na pokoveném povrchu keramiky. Vhodnější jsou obyčejné kovy, jako např. hliník. Protože ale v mnoha případech existuje požadavek na pájitelné kovové povlaky, musely být vyvinuty speciální postupy kontaktování, které zajistí bezbariérovost a pájitelnost při dobré soudržnosti.

K výrobě kompletního výrobku patří dále kryt, i když některé případy využití připouštějí nasazení „nahého“ pozistoru. Spektrum tady sahá od jednoduchého ochranného lakování až k úplně těsné montáži do skleněného nebo kovového krytu. Přitom se ale musí stále dbát na dobrý přechod tepla mezi tělem pozistoru a jeho okolím, protože to je pro použití pozistoru zvláště důležité.

1.2.4 Aplikace PTC

1.2.4.1 Keramický pozistor jako teplotní čidlo

Již z charakteristiky odpor-teplota keramického pozistoru zobrazené na Graf. 3 se dá jasně poznat, v čem spočívá zvláštní výhoda této součástky jako teplotního čidla, totiž ve sledování pevně stanovené mezní teploty. To má v praxi velký význam, např. pokud jde o to, ochránit stroj před předkročením přípustné nejvyšší teploty. Pro měření teplotce větším pásmu by se naproti tomu dala přednost součástce s monotónním průběhem charakteristiky, jako třeba je třeba termistoru se záporným teplotním součinitelem.

Konkrétní příklad pro sledování teploty jmenované povahy je takzvaná úplná ochrana motoru. Obvyklá metoda pro ochranu přetížení motoru používá jako kritérium vypnutí intenzitu pole. Pomocí odpovídající prodlevy vypínací součásti se sice dá dosáhnout hrubých přírůbků termickým vlastnostem motoru, které ale nevyhovují zcela při nepravidelné provozu s častými krátkodobými zatíženími (např. v pohonech jeřábu). V tomto případě je výhodné jako kritérium vypnutí využít teplotu bezprostředně na místě vzniku tepla, tedy v samotném vinutí motoru. Tímto může být motor lépe využit a v mnoha případech dokonce méně dimenzován. Pomocí vhodného výběru referenční teploty pozistoru se dosáhne toho, že přípustná nejvyšší teplota motoru, která je daná jeho provedením, vznikne v nejstrmějších oblastech charakteristiky. Tak se docílí zvláště vysoké reakční citlivosti, která umožňuje velmi jednoduché vyhodnocovací spojení. K tomu přispívá i kladné znaménko teplotního koeficientu vlastní bezpečnosti ochranného zařízení, neboť jejich nejpravděpodobnější porucha, přerušení v kontrolním proudovém obvodu, vede stejně jako přehřátí motoru k vypnutí. Třífázové motory jsou zpravidla vybaveny minimálně třemi pozistory, takže mohou být spolehlivě zaznamenány také

lokální přehřátí, např. při výpadku jedné fáze, což je zajištěno jednoduchým sériovým zapojením několika pozistorů.

Pro bezproblémovou funkci každého teplotního čidla je důležitý dobrý teplotní kontakt s obklopujícím médiem, jehož teplota má být registrována. Proto je tu často požadavek na elektrickou izolaci nebo ochranu před korozivními vlivy, zvláště v kapalných médiích. V praxi se proto musejí hledat kompromisy. V této souvislosti se také musí brát v úvahu nějaký vlastní ohřev čidla měřicím proudem, který může podle okolností značně zkreslit výsledek měření. Může se tomu zabránit výběrem přiměřeně malých provozních napětí, což má výhodu i v tom, že varistorový efekt každého keramického pozistoru ještě nehraje žádnou roli.

1.2.4.2 Stacionární charakteristika proud-napětí

Použití keramických pozistorů není v žádném případě omezeno na měření teploty. V předcházejícím oddíle zmíněný vlastní ohřev, považovaný za rušivý efekt, nabízí možnost, zaznamenávat i jiné měřené veličiny. Jestliže se na pozistoru nachází napětí U a protéká jím proud I , mění se v něm výkon

Vzorec 5

$$P = U I$$

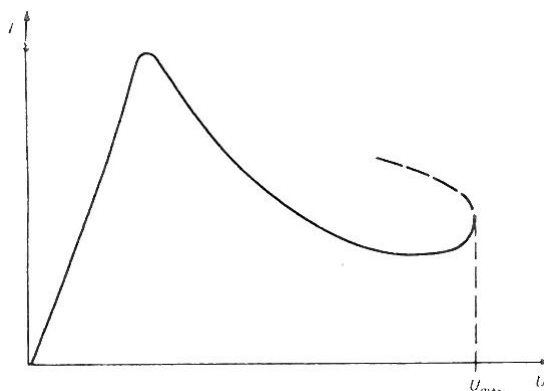
který se projeví vznikem tepla. Teplota pozistoru T_K stoupá nyní tak dlouho, až se dosáhne stavu, ve kterém se za stejný čas vyrobí tolik tepla, kolik se odevzdá okolí. Pozistor se nyní nachází v termické rovnováze se svým okolím. Potom platí vztah

Vzorec 6

$$P = \frac{\vartheta_K - \vartheta_U}{W}$$

kde T_U značí teplotu okolí a W tepelný odpor. To poslední je parametr pro přechod tepla, který závisí jak na samotném pozistoru, tak i na vlastnostech média, které jej obklopuje. Pokud se toto změní, posune se také rovnovážná teplota. Jestliže elektrický výkon stačí k tomu, aby pozistor za stávajících podmínek okolí ohřál až k teplotě, která leží v pásmu strmého průběhu charakteristiky odpor-teplota, projeví se posun rovnovážné teploty velmi citlivě na odporu pozistoru a tím na protékajícím proudu při daném napětí. Intenzita proudu je potom měřítkem pro druh a stav obklopujícího média.

Pokud by měl být pozistor nasazen popsáním způsobem, musí být správně zvolen pracovní bod. Protože není teplota pozistoru v takovém případě přímého měření beze všeho dostupná, nemůže se tady přiblížit charakteristice odpor- teplota. V technických dokumentacích jsou proto „stacionární charakteristiky proud-napětí“ uvedeny, které platí pro určité podmínky okolí. Každý bod takové charakteristiky odpovídá termickému rovnovážnému stavu. Její principiální průběh vychází z Graf. 6. Na větev křivky, která se přibližuje přímce, navazuje se stoupajícím napětím po průchodu proudového maxima pokles podobný hyperbole. Toto je vlastně pro praktické využití pásmo vzbuzující zájem. Při určitém napětí U_{\max} přechází křivka do charakteristiky termistoru se záporným teplotním součinitelem (jak je nakresleno přerušovaně na Graf. 6). Tady je teplota maximálního odporu překročena. Nad tímto napětím neexistuje už vůbec žádný termický rovnovážný stav, takže se pozistor zahřeje až k sebezničení.



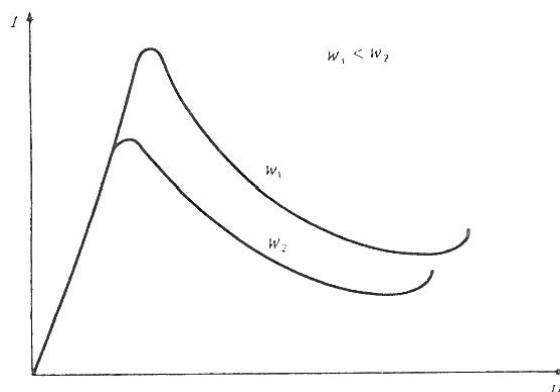
Graf. 6 Principiální průběh stacionární charakteristiky proud-napětí při daném tepelném odporu W

Protože termická rovnováha závisí na výdeji tepla pozistoru okolnímu médiu, musí být jeho stav pro charakteristiku proud-napětí jednoznačně definován. To vyžaduje údaje čtyř parametrů, totiž povahu látky, teplotu, tlak a pohybový stav. Tím jsou ale zároveň vyjmenovány čtyři veličiny, které mohou být měřičsky zaznamenány pozistorem. Praktické využití těchto souvislostí vede k dalším možnostem využití popsaných níže.

1.2.4.3 Čidla hladiny a proudění

Změna látkové vlastnosti okolního média nastává, když se pozistor, který se nejprve nacházel ve vzduchu, ponoření do kapaliny nebo obráceně. Rozdílná tepelná vodivost médií přitom vede k posunu termické rovnováhy a tím ke změně intenzity proudu. Každému z obou stavů odpovídá jedna charakteristika proud-napětí (Graf. 7), přičemž horní křivka platí pro menší tepelný odpor, v tomto případě tedy pro „ponořený“ stav.

Tímto způsobem se dají sestavit velmi jednoduché sestavy pro sledování hladiny kapaliny. Přitom se ovšem musí dbát na to, že také výkyvy teploty okolí posouvají charakteristiku proud-napětí. To může být samozřejmě kompenzováno, pokud se nasadí další čidlo pro měření teploty. Pokud je čidlo hladiny vhodně dimenzované, můžeme se kompenzace v mnoha případech zříci, protože při tomto použití přichází pouze výpověď Ano/Ne. Příklad pro takové řešení je elektronické jištění před přeplněním nádrží s topným olejem, které jsou už po mnoho let vyráběna ve velkém objemu s pozistory.



Graf. 7 Stacionární charakteristika proud-napětí stejného pozistoru pro dvě různé hodnoty tepelného odporu W_1 a W_2

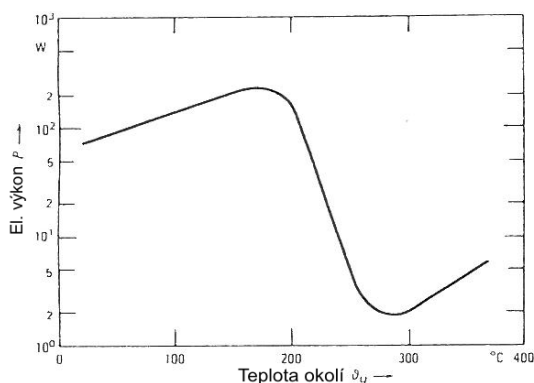
Pohybuje-li se okolní médium relativně k pozistoru, je mu konvekci další teplo odebíráno. I toto působí posun charakteristiky proud-napětí do vyšších hodnot proudu. Vznikl z toho praktický důsledek – měřicí metoda rychlosti proudění. V budoucnu to získá např. význam pro nepřetržité měření spotřeby pohonných hmot ve vozidlech. Tady je teplotní kompenzace nevyhnutelná. Existují ale i případy, ve kterých je vliv teploty dokonce požadován, totiž tehdy, pokud se u proudícího média jedná o chladicí prostředek. Pokud např. pro sledování chladicího vzduchu se zařadí pozistor do proudu odváděného vzduchu, reaguje na snížení rychlosti proudění stejným způsobem jako na zvýšení teploty odváděného vzduchu. Jedním čidlem tedy zaznamenáme jak poruchy chladicího zařízení samotného, tak i příliš vysokou produkci tepla v chladicím zařízení nebo příliš vysokou teplotu přiváděného vzduchu.

Nakonec musíme zmínit možnost měřit tlak příp. hustotu plynného média pomocí keramického pozistoru. Toto ovšem dosud ještě nebylo ve větší míře využito.

1.2.4.4 Topná tělesa se samočinnou regulací

Kvůli své strmé charakteristice $R-T$ a své vynikající dlouhodobé stabilitě se keramický pozistor hodí především jako teplotní čidlo pro vysoce konstantní termostaty. U většiny

teplotních regulačních obvodů jsou ovšem požadovány značně menší nároky na přesnost regulace, a proto nejsou výše jmenované výhody využity, přesto se tu nabízejí elegantní řešení, při kterých pozistor nepůsobí jen jako čidlo, nýbrž zároveň přebírá funkci topného tělesa. Reguluje se sám, neboť zvýšení teploty okolí způsobí snížení přebraného výkonu (Graf. 8).



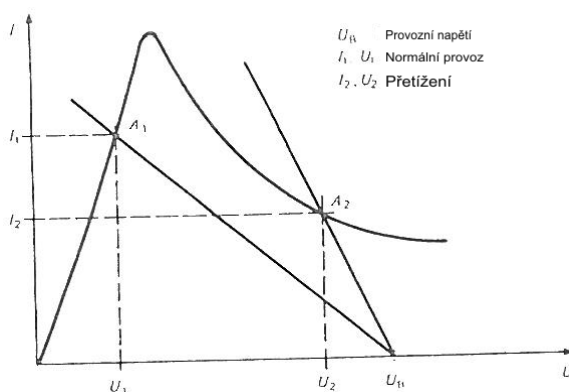
Graf. 8 Odebíraný výkon pozistoru na 220 V ~ jako funkce teploty okolí ($T_B \approx 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)

V těle pozistoru je tedy integrován celý regulační obvod včetně čidla a ovladače. Bezporuchová funkce takového samoregulačního topného tělesa závisí rozhodujícím způsobem na dobrém odvodu tepla z pozistoru. To je v podstatě konstrukční problém.

Zvláštní výhoda takových topných těles spočívá v tom, že lze také výkyvy provozního napětí rozsáhle vyregulovat. Toto lze pochopit ze základního průběhu charakteristiky proud-napětí (Graf. 6), jejíž klesající větev odpovídá přibližně křivce konstantního napětí. Při vhodném dimenzování jsou tyto prvky vhodné pro použití při různých provozních napětích (např. volitelné 110 nebo 220 V) bez přepínání.

1.2.4.5 Ochrana proti přetížení

Integrace čidla a ovladače hraje roli také v úplně jiné oblasti použití, totiž při ochraně proti přetížení u elektrických přístrojů. Samotná teplota nás tu nezajímá, ale slouží jedině jako pomocná veličina. Pozistor vlastně registruje intenzitu proudu a působí zároveň jako „vypínač“, který při silném poklesu odporu spotřebiče omezí proud na bezpečné hodnotě. Graf. 9 je charakteristika proud-napětí pozistoru znázorněna dvěma pracovními přímkami, jejichž sklon odpovídá právě teď určitému odporu spotřebiče.



Graf. 9 Pracovní body A_1 a A_2 pro ochranu proti přetížení elektrických přístrojů pomocí pozistorů

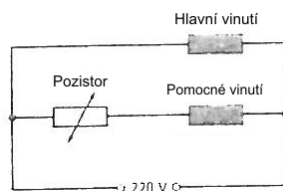
Pozistor je se spotřebičem sériově zapojen, spodní přímka se vztahuje na normální provoz (intenzita proudu I_1). Napětí působící na pozistor U_1 je malé oproti celkovému provoznímu napětí U_B . V případě přetížení platí přímka s větším sklonem, ta odpovídá menšímu odporu spotřebiče. Pracovní bod teď leží na větvi křivky podobné hyperbole, intenzita proudu je omezena na I_2 a velká část provozního napětí na pozistoru teď klesá (U_2). Samozřejmě může být funkce tohoto elektrického obvodu ovlivněna také teplotou okolí. Její zvýšení způsobí pokles charakteristiky I - U a tím i prahu rozlišitelnosti pro ochranu před přetížením, jeden z efektů požadovaný ve většině případů. Tento vliv se může ještě zesílit tím, že se vytvoří pomocí vhodného seřazení pozistorů termická spojka se spotřebičem proudu.

1.2.4.6 Keramický pozistor jako zpožďující prvek

Pro nastavení stacionárního stavu je stále potřebný jistý čas, který závisí v podstatě na tepelné kapacitě tělesa pozistoru. Toto se dá využít při zpožďovacím obvodu, např. ve spojení s relé. Obzvláště jednoduchá řešení umožňují pozistory tehdy, když má téci relativně vysoký proud zatěžovacím odporem pouze krátkodobě. V těchto případech mohou být pozistory nasazeny přímo jako časové spínače a můžeme se úplně zříci mechanických kontaktů nebo přídavných elektronických spínacích prvků, pokud nepatrný zbytkový proud, který po dosažení stacionárního koncového stavu ještě protéká, funkci zařízení neruší. Ve většině případů přitom stačí jednoduché sériové zapojení pozistorů a zatěžovací odpor.

Nejdůležitější případ použití tohoto druhu je start jednofázových motor: takové motory, které se velmi často používají v chladicích agregátech, požadují k rozběhu pomocné vinutí, které vede fázově posunutý proud oproti hlavnímu vinutí. Posun fáze vzniká přitom pomocí indukčnosti pomocného vinutí v sériovém zapojení s ohmickým odporem nebo

kondenzátorem. Protože toto vinutí je zatíženo vždy pouze krátkodobě, může být dimenzováno velmi úsporně, pokud je postaráno o to, aby bylo po naběhnutí motoru vypnuto. To se dříve odehrávalo pomocí relé, jehož vinutí leželo v sérii k hlavnímu vinutí motoru. Pomocí keramického pozistoru v pomocném proudovém okruhu se dá nahradit nejenom relé, ale zároveň i nutný odpor pro posun fáze (Obr. 6). Odpadnutí mechanických kontaktů snižuje poruchovost.

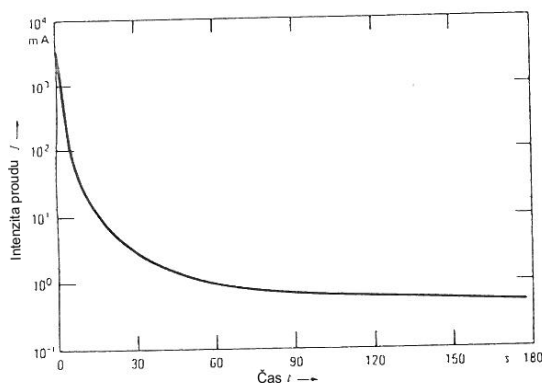


Obr. 6 Schéma zapojení pro jednofázový motor

Pozistory se obzvláště dobře hodí pro demagnetizační obvody. Tady spočívá úloha v tom, aby se střídavý proud, který protéká demagnetizační cívkou, nechal postupně doznít. Mechanické kontakty jsou zde tedy zásadně nevhodné. Sériovým obvodem cívky a pozistoru může být ovšem tento problém jednoduchým způsobem vyřešen. Zvláštní význam získaly takové obvody pro barevné televizory. Masky s otvory pro obrazovky barevných televizorů je velmi citlivá na magnetická pole. Již změna polohy televizního přijímače se zřetelem na zemské magnetické pole může vést k poruchám barevné konvergence, proto je nutná čas od času demagnetizace. Cívka se v tomto případě skládá z malých velkoplošných drátových vinutí, která obklopují obrazovku, a je připojen nad pozistorem do sítě střídavého proudu 220-V, když je síťový vypínač přístroje vypnutý. Při zapnutí proudí nejprve silný proud cívkou (asi 5 A), který pak následkem zahřátí pozistoru rychle dozní a směřuje k stacionární koncové hodnotě. Potíže se mohou v praxi vyskytnout při dimenzování pozistorů, protože na jedné straně je požadován vysoký počáteční proud v zájmu účinné demagnetizace, na druhé straně musí být zbytkový proud velmi malý, aby nezpůsobil žádné rušení obrazu. Pozistor se proto opatří vnějším topením, čímž se může lépe využít posun odporu. Jako topné těleso se přitom použije také pozistor, jehož referenční teplota leží nad teplotou pozistoru v cívkce. Působení termostatu popsané zabraňuje přehřátí pozistoru v cívkce. Tímto vznikne zapojení podle Obr. 7. Proud cívky jako funkce času je zobrazen na Graf. 10.



Obr. 7. Schéma zapojení demagnetizace pro barevné obrazovky



Graf. 10 Proud cívky jako funkce času pro zapojení dle Obr. 7

Oba pozistory jsou vestavěny v jednom společném krytu a jsou vzájemně v dobrém tepelném kontaktu.

1.2.4.7 Obecné pokyny pro použití keramických pozistorů

Některá důležitá hlediska pro bezporuchovou funkci keramických pozistorů byla již zmíněna, totiž nutnost dobrého tepelného kontaktu s okolím jakož i zabránění chemických vlivů, které by mohly vést k redukci keramiky.

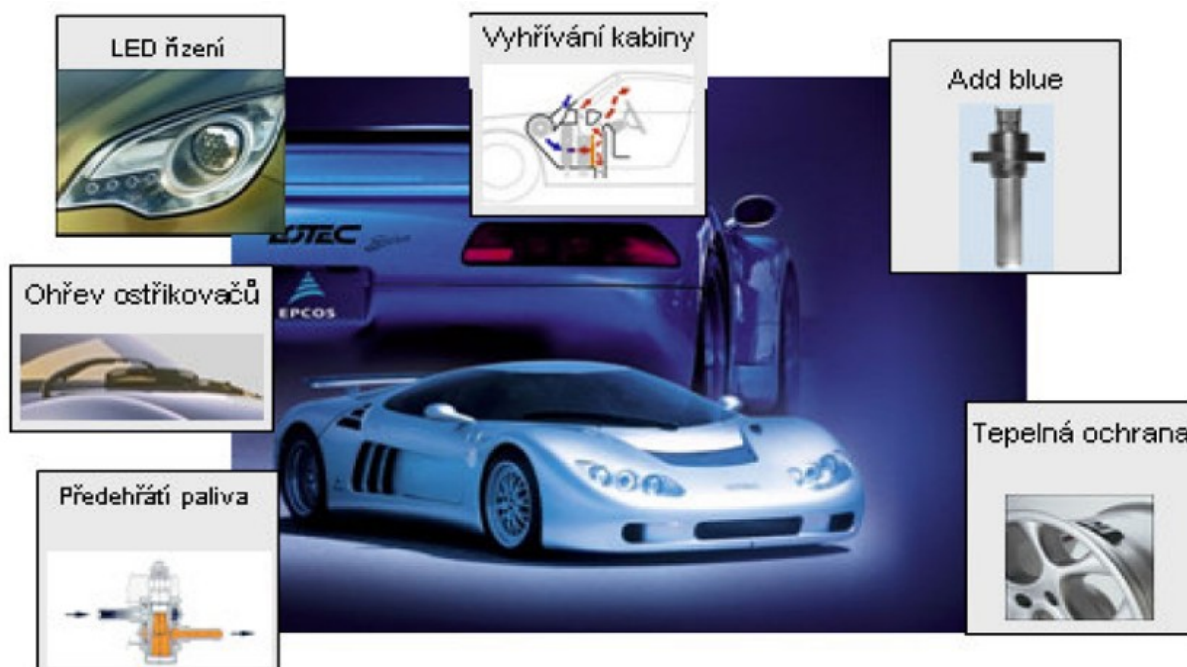
Je nutné zvláště dbát okolnosti, že sériové zapojení více pozistorů smí být zásadně zatíženo jen provozním napětím přípustným pro jeden jednotlivý pozistor, protože v tomto případě přebírá stále jen jeden pozistor téměř celkové napětí, zatímco ostatní zůstávají prakticky studené. Naproti tomu má neomezené možnosti paralelní zapojení více pozistorů. Může se tedy teoreticky ovládat libovolně vysoké intenzity proudu, ne ale libovolně vysoká napětí, ani ne použitím odpovídajících dlouhých těl pozistorů, protože tyto se kvůli relativně nízké tepelné vodivosti keramiky chovají podobně jako více kratších prvků zapojených sériově. Přesto jsou pozistory disponibilní v nízkonapěťové síti (tedy až do 380 V).

Nastavení stacionárního stavu vyžaduje určitý čas, což umožňuje použití pozistorů jako časového článku, a také to hraje roli tehdy, jestliže nedávno nás zajímaly pouze stacionární stavy. Tak se např. při použití pozistorů jako čidla hladiny nebo samoregulačních topných článků bezprostředně po zapojení často vyskytnou intenzity proudu, které leží vysoko nad maximem charakteristiky proud-napětí, protože poslední popisuje jen stacionární

1.2.4.8 Příklady aplikací

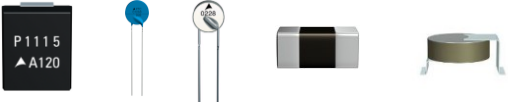







Obr. 8 Příklady využití PTC jako ohříváčů



Obr. 9 Příklady využití PTC v automobilovém průmyslu

1.2.4.9 Výrobní sortiment divize PTC

Overcurrent protection	
Motorstart (Compressors)	
Heating elements	
Telecom Protection	
Inrush current limiters	
Limit temperature Protection (sensors)	

1.3 SMD Čipy

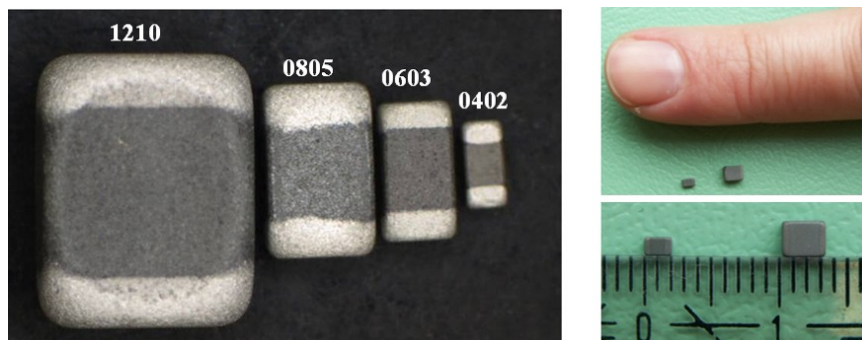
Nejmenší součástky, které je vůbec možno v naší výrobě PTC najít se nazývají SMD čipy. SMD (z anglického slova surface mount device) je název pro elektronické součástky, které se při pájení nasazují přímo na základovou desku mobilů nebo notebooků.

1.3.1 Rozdělení čipů

1.3.1.1 Dle velikosti

Velikost	Tloušťka [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]	Způsob lisování
0402	0,5	0,5	1	Substrát
0603	0,8	0,8	1,6	Substrát
0805	0,8	1,25	2	Finální rozměr
1210	1,6	2,5	3,2	Finální rozměr

Tabulka 1

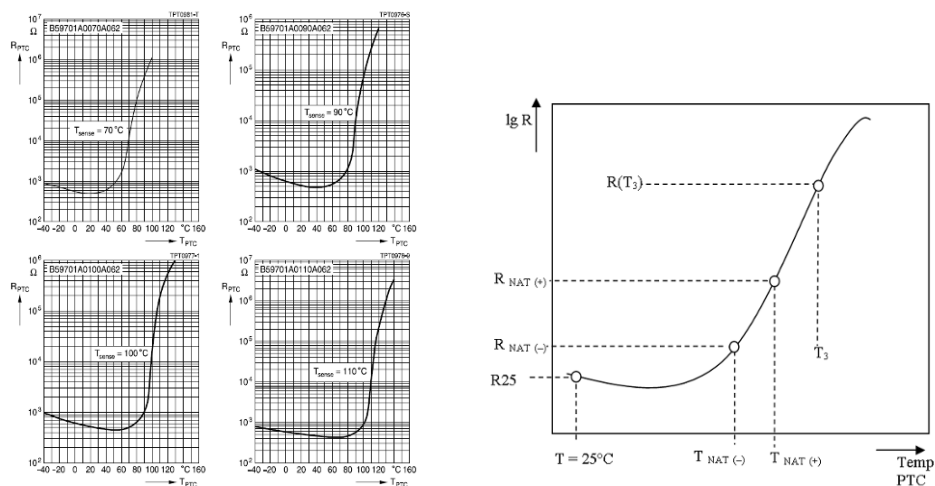


Obr. 10 Ukázka velikosti čipů

1.3.1.2 Dle referenční teploty (T_B)

Při této teplotě se skokově zvyšuje hodnota odporu, což je velmi důležité pro správnou funkci aplikace.

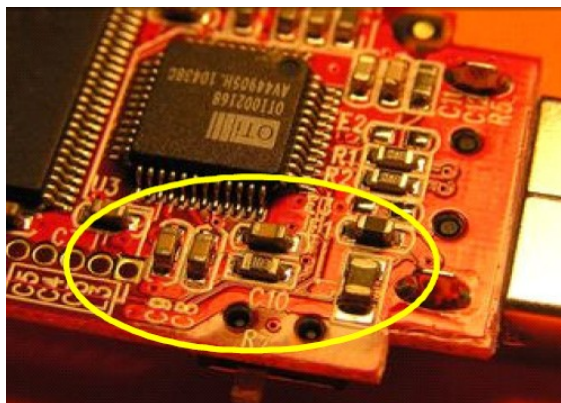
Příklad velikosti čipů 0805 – typ A701 (T_B - 70°C, 90°C, 100°C, 110°C)



Graf. 11 Chování různých referenčních teplot v závislosti odporu na teplotě

1.3.2 Aplikace

SMD čipy se používají v řadě aplikací jako řízení rozložení teploty u elektroniky do automobilového průmyslu, ochrana zdrojů pro napájení, AC/DC konvertory nebo jako senzory proti přehřátí.

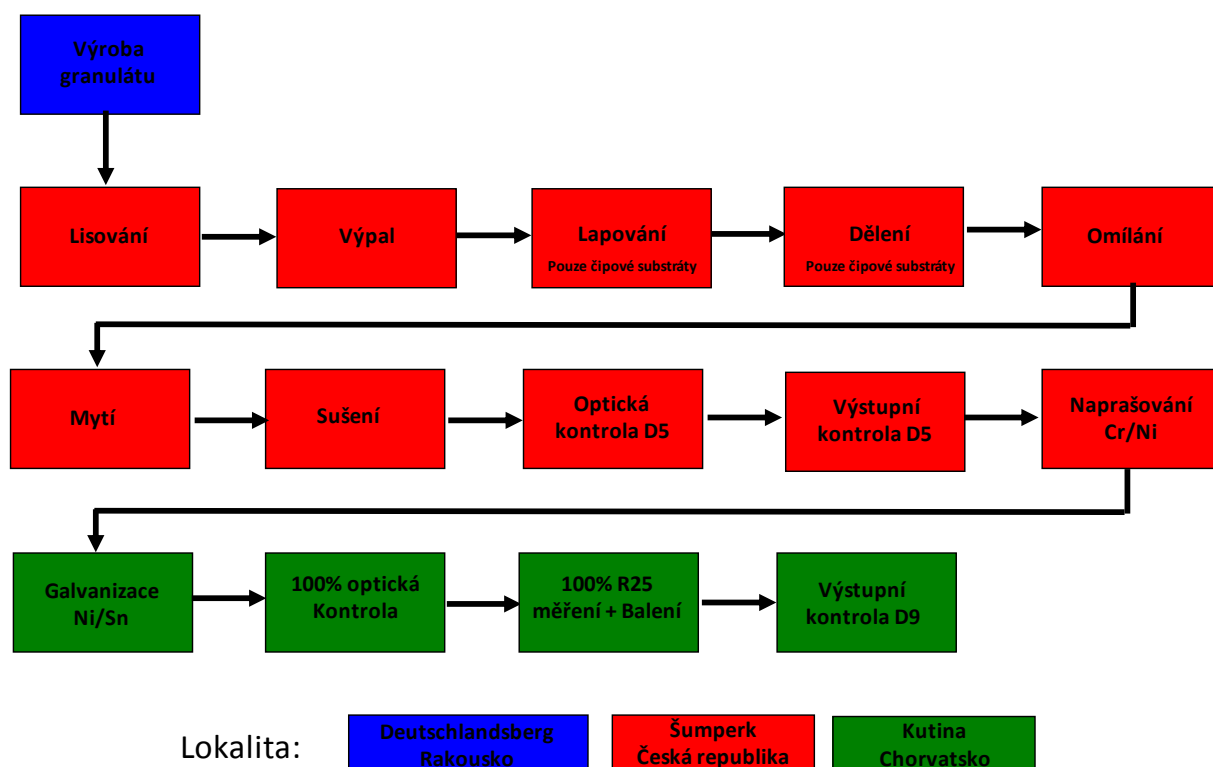


Obr. 11 A. Napájené čipy



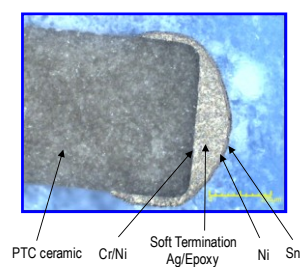
B. Aplikace

1.3.3 Flowchart výroby



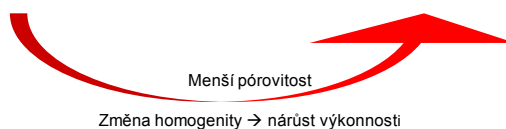
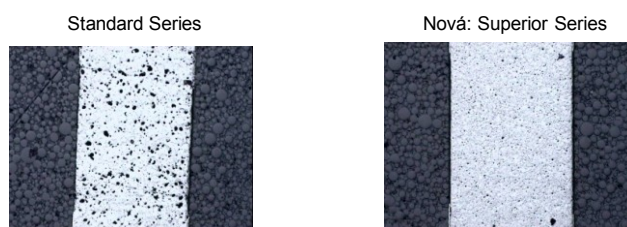
1.3.4 Nové produkty rodiny čipů

1.3.4.1 Velikost 0402



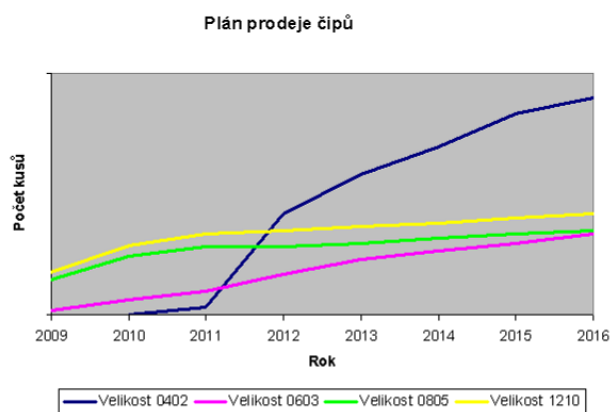
Obr. 12 Nová serie produktů typu A451

1.3.4.2 Velikost 0603 + 0805



Obr. 13 Změna pórovitosti

1.3.5 Nárůst zakázek čipů



Graf. 12 Nárůst zakázek

Z grafu je viditelné, že od roku 2011 předpokládáme nárůst zakázek převážně čipů menších rozměrů, což souvisí současnou dobou miniaturizace.

1.3.6 Zákazníci

Např. Conti, Bosch, Hella, Harvard, Lenovo, Mitsumi, Sony

1.4 Statistická regulace procesu (SPC)

1.4.1 Co je to SPC?

Při tradičním způsobu zabezpečování jakosti vyráběných výrobků se jejich kontrola provádí až po jejich vyrobení. Tato strategie není ale ekonomická, protože se kontrola výrobků uskuteční až tehdy, když byl výrobek vyroben, a v případě, když je výrobek nevyhovující, byly náklady na jeho výrobu vynaloženy zbytečně.

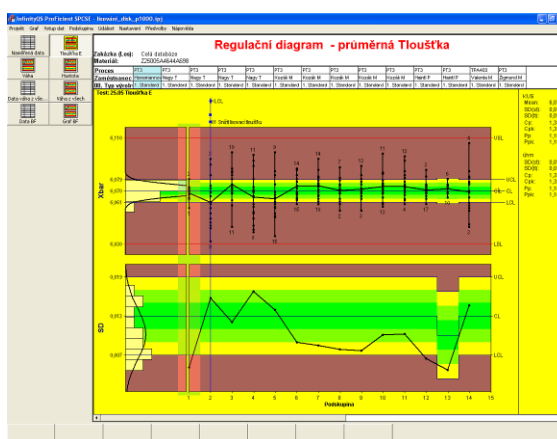
Efektivní způsoby zabezpečování jakosti jsou založeny na přístupu, při němž se předchází zbytečnému vynakládání prostředků potřebných k výrobě. Tato prevence může být zajišťována cestou neustálého získávání informací o chování výrobního procesu a jejich analýzou, přičemž cílem těchto analýz je působit na výrobní proces tak, aby výstupem byly výrobky mající požadované vlastnosti.

Jedním z těchto způsobů preventivního nástroje řízení jakosti je statistická regulace procesu (v angličtině se používá název Statistical Process Control, zkráceně SPC), která na základě včasného odhalování významných odchylek od stanovené úrovně vybraného znaku resp. znaků procesu umožňuje realizovat takové zásahy, které proces udržují dlouhodobě na požadované a stabilní úrovni.

Teorie statistické regulace procesu vychází z existence variability, která je výsledkem působení řady vlivů, které na proces, i za relativně standardních podmínek působí, obecně je nazýváme nahodou. Variabilita způsobuje, že žádné dva výrobky nejsou stejné. Je ale možné tuto variabilitu sledovat a také popsat, což umožní jednak vytvořit podmínky k tomu, aby se pohybovala podle pravděpodobnostních zákonů v určitých mezích, jednak umožní na základě těchto zákonů předvídat chování procesu v budoucnu.

1.4.2 Statistický program Infinity QS

Firma Epcos s.r.o. aktuálně využívá software Infinity QS, který nahradil software CAQ.



Obr. 14 Ukázka Infinity QS z lisování - tloušťka

1.5 Minitab

Společnost Minitab Inc. vytvořila statistický software, který poskytuje rychlé, snadné a seriózní výsledky pro uživatele jak z praxe, tak i vysokých škol. Statistický program minitab nabízí řešení analýzy dat pro uživatele všech úrovní znalostí statistiky. Původně byl v roce 1972 tento software vyvinut na Pensylvánské státní univerzitě jako podpora výuky statistiky. Snadností použití, přehledností a kvalitou výsledků si minitab získal důvěru a v dnešní době je používán na více než 4000 vysokých škol a univerzit po celém světě.

Protože minitab nabízí přesné a přizpůsobitelné nástroje pro kontrolu kvality, plánování experimentu a základních statistických metod, našel si cestu i do praxe a je používán v různých společnostech na celém světě.

1.6 Statistické funkce

1.6.1 Paretova analýza

Paretovu analýzu definoval italský ekonom Vilfredo Pareto. V roce 1897 přišel na to, že 80% bohatství země je v rukou 20% lidí. Byl tvůrcem sociologického systému a tvrdil, že vůdčí postavení mají elity. Elity, které existují ve všech oblastech společenského života. Základem pro zařazení do elity byl statisticky zjištělý úspěch. Pareto se také věnoval teoriím tržní rovnováhy. Pokusil se definovat ekonomické optimum. Optima se mohlo dosáhnout, když funguje tržní mechanismus dokonalou konkurencí. V praxi to mělo znamenat, že žádná firma nebo jiný subjekt nemůže zvýšit svůj blahobyt tak, aby zároveň nesnížil blahobyt někoho jiného.

1.6.1.1 Popis Paretovy analýzy

Většina lidí předpokládala, že 50% úsilí vede k přibližně 50% výsledků (nebo 50% vstupů vytváří 50% výstupů). To však Vilfredo Pareto vyvrátil. Ve svém pravidle vyvrátil základní rovnováhu mezi vynaloženým úsilím a následnou odměnou.

Paretova analýza vychází z principu, který říká: **20% všech našich činností přináší 80% zisku.**

Je-li tomu tak, pak nemá smysl se stejně důsledně zabývat všemi činnostmi. Vhodnější je zaměřit se na ty činnosti, které mají největší efekt.

Později se Paretovo pravidlo zkrátilo na: pravidlo 80/20.

Paretova analýza se realizuje v několika krocích:

1. Definování místa analýzy – výběr procesu, činností, kde chceme zvýšit zisk nebo efektivitu. Může se např. jednat o reklamace, neshody ve výrobě, administrativě, úspěšnost produktů apod.
2. Sběr dat – pro analýzu je zapotřebí získat relevantní data o fungování a jejich hodnoty se zapíší do tabulky.
3. Uspořádání dat – získaná data se seřadí podle největšího výskytu, četností, největší váhy, či jiného kritéria. Vždy se však seřadí od největší zvolené hodnoty po nejmenší.
4. Lorenzova kumulativní křivka – tato křivka vznikne tak, že se kumulativně sečtou hodnoty u jednotlivých dat a vynesou se do grafu.
5. Stanovení kritéria rozhodování – zde se můžeme rozhodnout využít striktně Paratova pravidla 80/20 a nebo si také můžeme vybrat, že chceme odstranit jen 60% neshod apod. My si zvolíme 80/20.
6. Identifikování hlavních příčin – z levé strany grafu vzniklého z dat zapsaných do tabulky, z hodnoty 80% vyneseme čáru na kumulativní Lorenzovu křivku. Z ní pak spustíme svislou čáru, která nám oddělí ty případy, příčiny, kterými se máme zabývat. Ty, které mají největší vliv na následky.
7. Stanovení nápravných opatření k odstranění nebo rozvoji příčin, které nám způsobují nejvíce ztrát anebo naopak vedou k navýšení zisku.

1.6.2 Histogram

Slouží ke grafickému vyjádření velkého datového souboru, přičemž je předpokládáno, že data jsou kvantitativní. Méně se hodí pro vyjádření malých datových souborů. Histogram je soustav obdélníků v kartézské souřadné soustavě, jejíž základny jsou třídy a výšky jsou četnosti tříd (absolutní, relativní, kumulativní). Z tvaru histogramu můžeme usuzovat na další důležité vlastnosti datového souboru. (různé manipulace s daty, určení rozdělení příslušné náhodné veličiny, ...)

1.6.3 ANOVA – analýza rozptylu

Analýza rozptylu se v technické praxi používá buď jako samostatná technika nebo jako postup umožňující analýzu zdrojů variability u lineárních statistických modelů. Při analýze rozptylu postupujeme tak, že celkovou variabilitu výsledků rozdělíme na samostatné složky: faktory (působí systematicky) a náhodné vlivy (působí náhodně). Známe-li velikost

složek rozptylu, pak můžeme posoudit, jakou částí se na celkové variabilitě zúčastňují jednotlivé faktory a náhodné vlivy.

Analýza rozptylu vlastně testuje hypotézu, že jednotlivé datové soubory pocházejí ze stejného rozdělení pravděpodobnosti, proti alternativní hypotéze, že základní rozdělení pravděpodobnosti není u všech datových souborů stejné.

1.6.4 Normality test

Pro řadu statistických metod (testy hypotéz, ANOVA, ...) je nutné, aby byla splněna podmínka normality, což znamená, že příslušná náhodná veličina, jejíž neměřené hodnoty máme v datovém souboru, má normální rozdělení.

1.6.5 Regresní analýza

Důležitou statistickou úlohou je hledání a zkoumání závislostí proměnných, jejíž hodnoty získáme při realizaci experimentů. Tuto závislost vyjadřujeme pomocí tzv. regresivní funkce.

1.6.6 DOE – plánovaný experiment

Plánování experimentu je silný nástroj, který má tuto schopnost pomoci při zlepšování výrobních i nevýrobních procesů. Umožňuje nám zkoumat faktory, působící na procesy, a zjišťovat jejich vliv na změny těchto procesů. Tedy plánování experimentu odpovídá na otázku, jak faktory ovlivňují a řídí dané procesy. Na základě těchto výsledků, pak můžeme najít takové nasatvení faktorů, které zajistí optimální výkon procesu

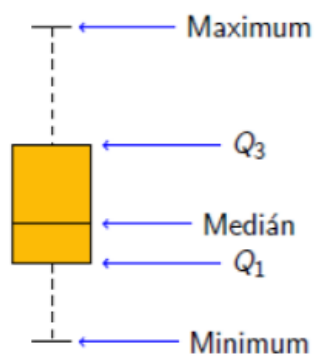
1.6.7 Boxplot – krabicový graf

Box Plot je statistická metoda, která umožňuje jednoduše zobrazit 5 hodnot v jednom grafu. Ukázkový krabicový graf je na Obr. 15.

Medián je hodnota, která dělí řadu podle velikosti seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. K jeho nalezení tedy stačí seřadit hodnoty podle velikosti a mediánem je právě prostřední hodnota řady.

Q1 a Q3 jsou kvartily. Q1 odděluje 1. čtvrtinu a Q3 4. čtvrtinu od celku. Minimum a maximum grafu nabývá nejmenší resp. největší hodnoty celé řady za předpokladu, že graf neobsahuje hodnoty větší než $1,5 \cdot (Q3 - Q1) + Q3$ nebo hodnoty menší než $Q1 - 1,5 \cdot (Q3 - Q1)$. Pokud graf obsahuje extrém (body větší než $3 \cdot (Q3 - Q1)$ od Q3 nebo menší než $3 \cdot (Q3 - Q1)$ od Q1) jsou tyto body zakresleny nad maximum resp. minimum.

Nástroj Box plot je výhodné použít k vizualizaci dat, o kterých nevíme, jaké mají rozdělení pravděpodobnosti.



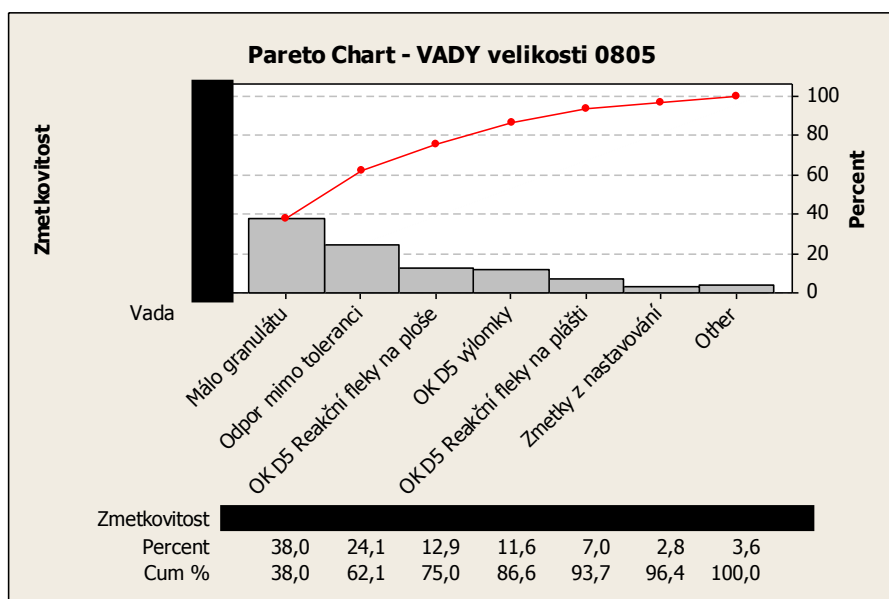
Obr. 15 Boxplot - krabicový graf

2 Analýza současného stavu

2.1 Přehled vad

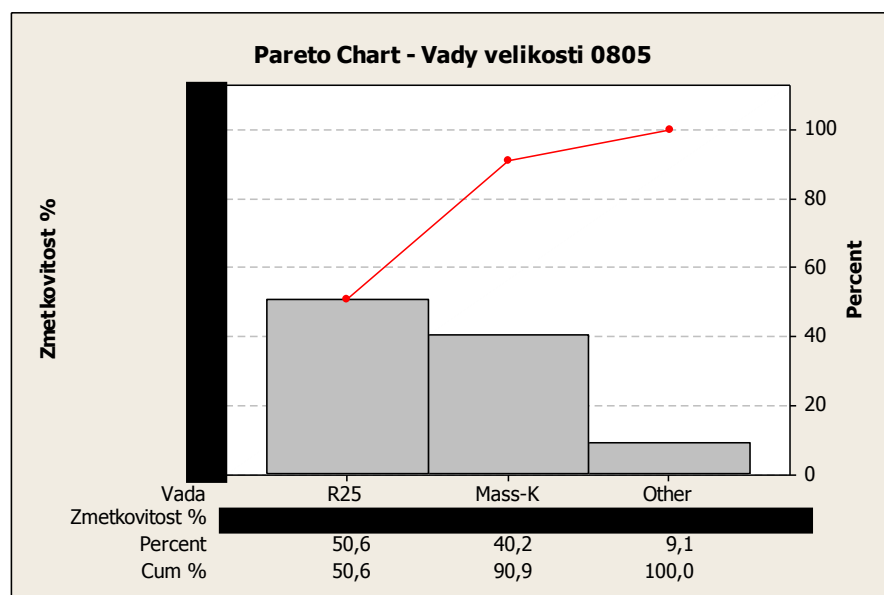
Pomocí pareto grafu zjistíme nositele zmetkovitosti dle četnosti. Vyhodnocení nám pomůže zaměřit se na ty vady, které nám nejvíce ovlivňují zmetkovitost.

2.1.1 D5



Vyhodnocení v Minitabu 1: Pareto D5

2.1.2 D9



Vyhodnocení v Minitabu 2: Pareto D9

** přesné údaje o zmetkovitosti jsou interní záležitost a nemohou být zveřejněny*

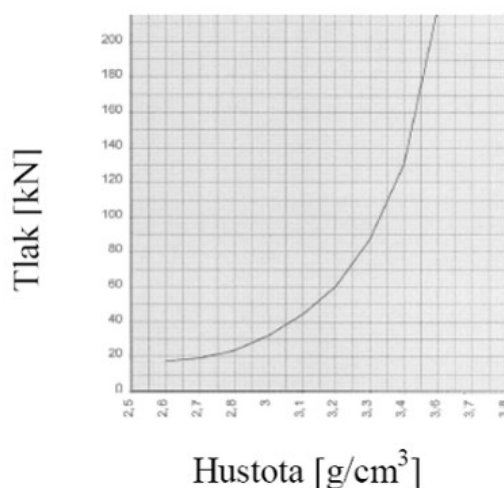
2.2 Lisování

2.2.1 Proces lisování

Granulát se sype z plnicího zařízení násypky do prostoru matrice nástroje, který je omezen dolním razníkem, což je výška násypu materiálu při lisování. Přebytečný granulát se setře plastovou stěrkou, která je k této činnosti nastavena. Horní razník se vsune do matrice, horní a dolní razníky se pohybují proti sobě a granulát se slisuje. Při dosažení nastavené lisovací tloušťky je výlisek vytlačen a odsunut z prostoru nástroje. Výlisek se přes skluzavku přesouvá na pás.

Lisovací hustota musí ležet mezi $2,8 \text{ g/cm}^3$ a $3,7 \text{ g/cm}^3$. Lisovací hustota pod $2,8 \text{ g/cm}^3$ není přípustná pro manipulaci s výlisky, hustota přes $3,7 \text{ g/cm}^3$ vede k poškození nástrojů. Lisovací tlak vzrůstá v poměru k hustotě výlisku exponenciálně.

Dělicí substance, aby se kusy při výpalu nespekly je ZrO_2 .



Graf. 13 Závislost lisovacího tlaku na hustotě

2.2.2 Lis pro SMD čipy

Lisování čipů probíhá na rotačních lisech a to dle finální velikosti čipu. Základ rotačního lisu tvoří otočný karusel, který lze osadit několika nástroji, což znamená větší počet výlisků na jedno otočení karuselu. Výhodou rotačních lisů je vysoká rychlost lisování a tím vysoký kusový výkon.

Lis	Velikost	Způsob lisování	Počet razníků	Otáček za minutu
P5	0402, 0603	substrát	12	5
P2/1	805	finální kus	24	10
P1	1210	finální kus	12	10

Tabulka 2



Obr. 16 A. P5



B. P2/1



C. P1

2.2.3 Procesní kontrola

Procesní parametry, které sledujeme za jednotku času, jsou:

1. Lisovací tloušťka
2. Lisovací hmotnost
3. Lisovací hustota (vypočtený parametr z tloušťky a hmotnosti)

Každou hodinu měříme počet výlisků dle počtu razníků a hodnoty zadáváme do Infinity QS. V případě, že se výlisky nacházejí mimo specifikační limity, tak se s výlisky musí zacházet jako s neshodným zbožím.

2.2.4 Optická kontrola výlisků

Optická kontrola výlisků se provádí nejméně jednou za hodinu. Při optické kontrole je nutno zkontrolovat výlisky ze všech razníků pod mikroskopem při zvětšení 16x.

Optická kontrola se provádí na optické vady:

- Trhliny
- Výstupky na hranách
- Úlomky hran
- Skvrny
- Zalisované části výlisků v jiném výlisku, atd.

Pro všechny vyjmenované druhy vad platí kritérium nulové vady.

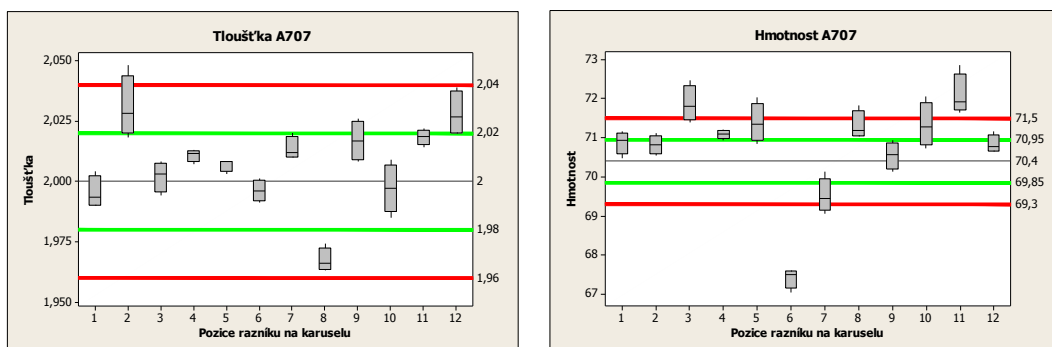
Při optické kontrole je třeba řídit se chybovníkem pro čipy nebo substráty. V případě nalezení vady je nutno nalézt příčinu a odstranit ji (zodpovědný je seřizovač). Výlisky, na kterých byla nalezena optická vada je třeba vyzmetkovat nebo označit hlášenkou, pokud se jedná o systematickou vadu např. pouze jednoho razníku (zodpovědný mistr), další postup je případně nutné zkonzultovat s procesním technologem lisování.

2.2.5 Nositelé zmetkovitosti

- Kontaminace výlisků
- Optické vady (např. výlomky, přilepený razník)
- Chybějící granulát

2.2.6 Nevýhody

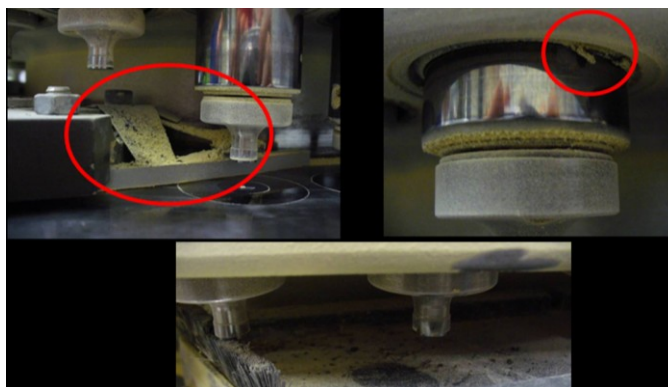
- Velká variability rozměru vypálených čipů z důvodu nestability lisovacích parametrů



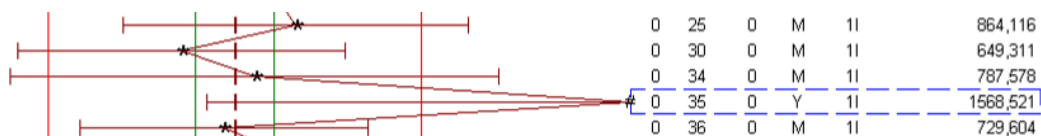
Vyhodnocení v Minitabu 3: Boxplot (rozdíly mez jednotlivými razníky)



Obr. 17 Ukázka nestability lisování po výpalu



Obr. 18 Ukázka příčin znečištění od oleje



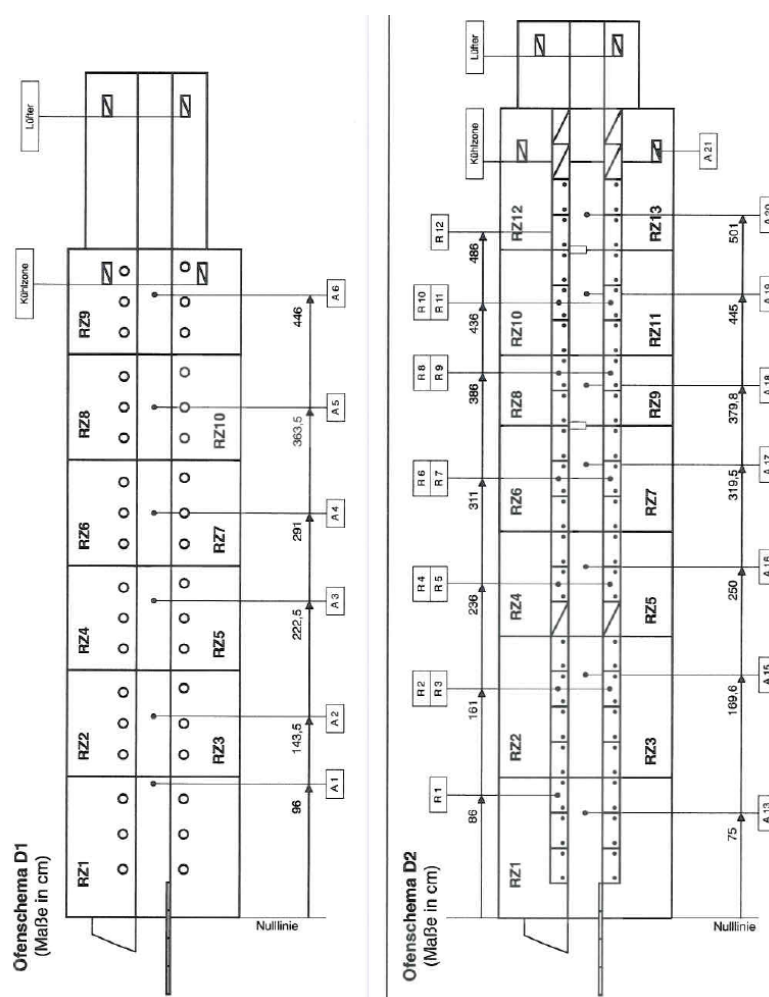
Obr. 19 Vliv menšího rozměru na odpor

2.3 Výpal

2.3.1 Proces výpalu

Jako výpal je označováno tepelné opracování pod tavnou teplotou, v důsledku čehož se uzavřou dutiny porézní práškové směsi a vlastnosti materiálu se změní směrem k těm, které mají krystalické materiály. Při tomto procesu se výchozí materiál, to jsou porézní výlisky z prášku, které přidáním pojiva v množství ca 3% výchozího materiálu získaly určitou míru stability a tím i schopnost nechat se přepravovat (slepení jednotlivých zrn), stane hustším a tím i menším (smrštění). Smrštění se u pozistorové keramiky pohybuje v řádové velikosti 22%, když vycházíme z výlisku. Změnu hustoty je možno zřetelně pozorovat v jednotlivých výrobních krocích keramiky.

Výpal je velmi komplikovaný proces. Vedle fyzikálních procesů, které jsou spojeny s přesunem hmoty a vedou ke zhuštění, určují vlastnosti keramiky také chemické procesy, které závisí na teplotě a složení plynné fáze, ve které se výpal provádí.



Obr. 20 Schéma průběžných pecí pro výpal čipů

2.3.2 Výpal SMD čipů



Obr. 21 A. Průběžná pec

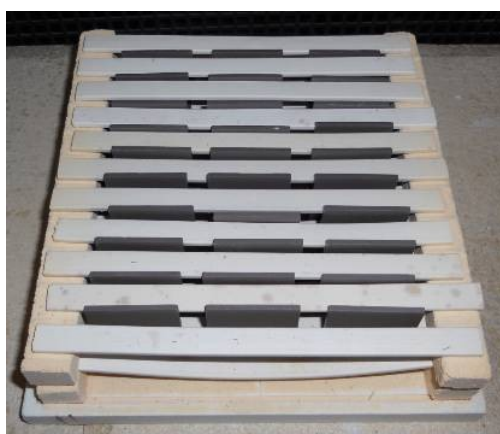


B. Komorová pec

- komorová pec - pro výpal čipových susbtrátů
- průběžná pec - pro výpal jednotlivě lisovaných čipů



Obr. 22 Výpalové schéma na průběžné peci



Obr. 23 Výpalové schéma v komorové peci

2.3.3 Procesní kontrola

Procesní parametr, který sledujeme je elektrický odpor. Aby mohla být změřena hodnota odporu R_k pozistoru ($R_k = R_{25} =$ elektrický odpor PTC při 25°C), je nutné nanést kovové

elektrody. To se provádí pomocí tekuté slitiny z india a galia (InGa) tak, že se kusy natrou slitinou InGa pomocí speciální houbičky.



Obr. 24 A. InGa + stětce



B. Nenatřený vs natřený kus

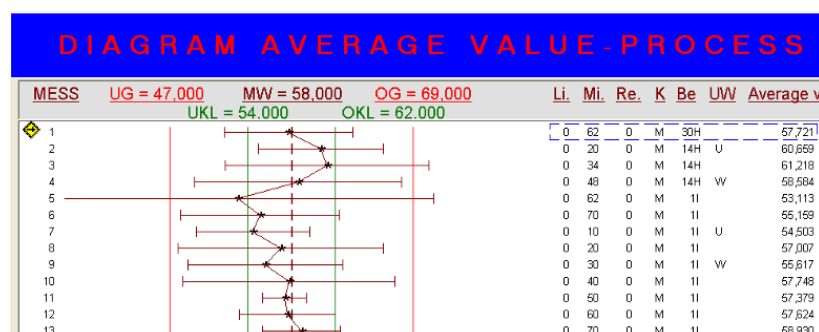
Interval měření:

- V režimu nastavování měříme každou lodičku s vypálenými kusy (5 ks)
- V plné produkci každý desátý posuv (5 ks)

Data ukládáme do programu Rk_sint.

2.3.3.1 Rk_sint

Slouží k evidenci odporu jednotlivých typů, teplotních křivek a zásahů, které vedly k požadovanému odporu dle výrobního příkazu. Hodnoty odporu se evidují měřicím systémem, přičemž se kusy musí ponořit do olejové lázně o teplotě 25°C. Změny nastavení křivky se zanesou do programu zápisem „U“ při provedené změně nastavení popř. „W“ při jeho skutečné účinnosti a spolu s naměřenými hodnotami R_k se uloží do paměti.



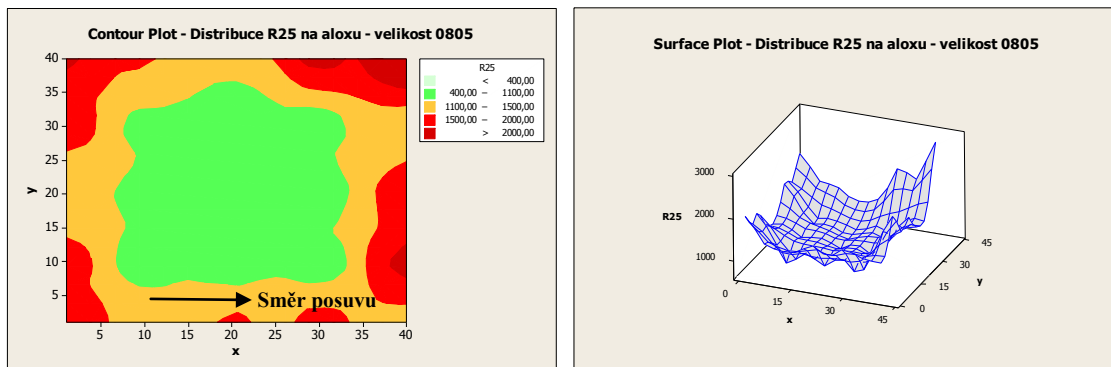
Obr. 25 A. Ukázka programu Rk_sint



B. Olejová lázeň s měřicí liskou

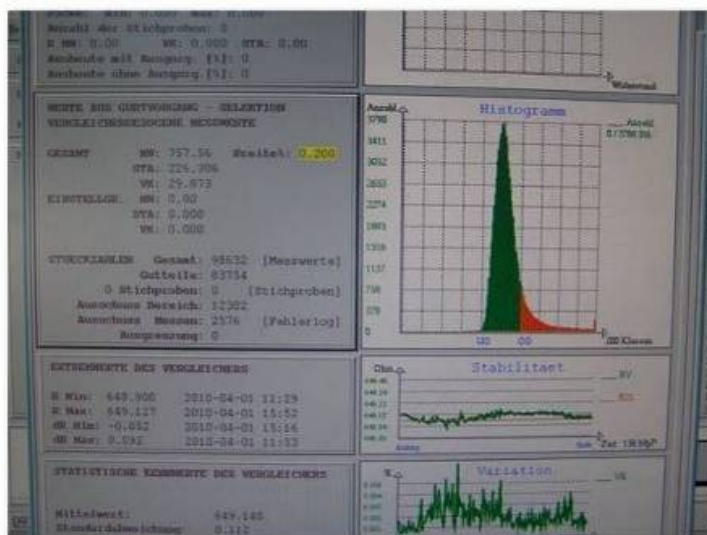
2.3.4 Nositelé zmetkovitosti

- odporově vyšší kusy po obvodu lodičky převážně u velikosti 0805



Vyhodnocení v Minitabu 4: Distribuce R25 na aloxu

V histogramu je červěně zobrazen “ocásek” odporově vysokých čipů mimo specifikaci z finálního měření odporu hotových čipů. Lze konstatovat, že vysoké kusy jsou původem obvodové kusy na aloxu.



Obr. 26 Histogram z finálního měření R25

- prohnuté čipové substráty => nedolapované substráty

2.3.5 Nevýhody

- Nízká produktivita čipových substrátů

2.4 Lapování (pouze čipové substráty)

2.4.1 Proces lapování

Lapováním dosahuje vysoké kvality povrchu (drsnosti) a vysokého stupně rovinnosti obrobené plochy. Jako lapovací medium používáme SiC. Procesem lapování je možno ovlivnit výsledný odpor produktu, proto je dodržení požadovaného rozměru velmi důležité.

Při lapování keramických substrátů dosahujeme přesnosti: $\pm 0,02$ mm



Obr. 27

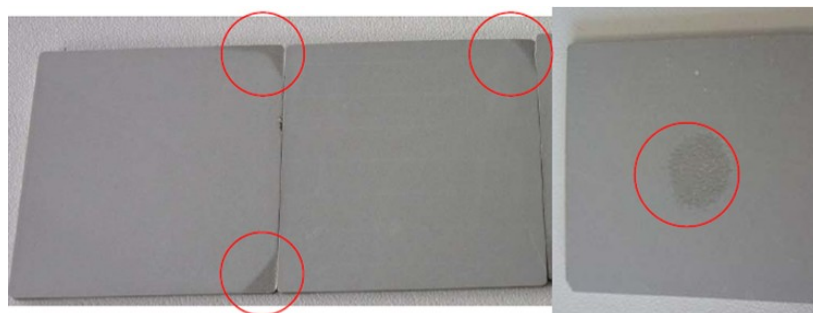
A. Lapovací stroj



B. Lapovací medium SiC

2.4.2 Nositelé zmetkovitosti

- Nedolapované substráty z důvodu prohnutí

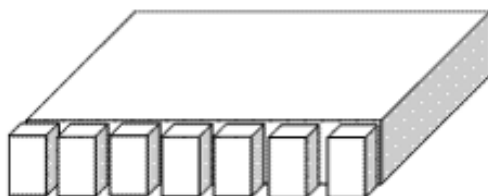


Obr. 28 Ukázka nedolapovaných substrátů

2.5 Dělení (pouze čipové substráty)

2.5.1 Proces dělení

Dělením rozumíme rozřezání keramického substrátu na jednotlivé čipy pomocí diamantového kotouče o tloušťce 0,3 mm. Zmetkovitost u tohoto procesu je zanedbatelná.

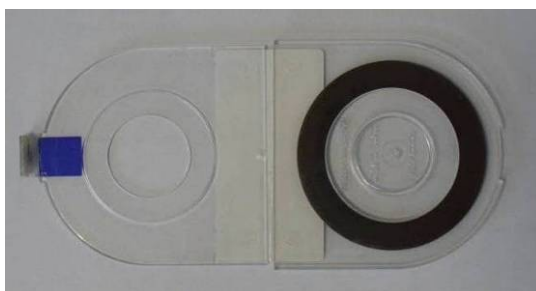


Obr. 29 Ukázka dělení čipů ze substrátu

Při dělení dosahujeme přesnosti $\pm 0,01$ mm.



Obr. 30 Dělicí stroj + pomocné zařízení



Obr. 31 Diamantový kotouč

2.6 Omílání + sušení

2.6.1 Proces omílání + sušení

Procesem omílání rozumíme zaoblení ostrých hran čipu dle specifikace.



Obr. 32 A. Před omletím



B. Po omletí

Parametry omílání:

- Počet otáček: 65 - 75 ot/min
- Počet omílacích bubnů: 4

Časy omílání:

Velikost čipů	Množství kusů v bubnu	Čas omílání
1210	max. 400 ml	3,5 h
0805	max. 400 ml	5,0 h
0603	max. 400 ml	5,0 h
0402	50K - 150K	32,0 h
	> 170K	52,0 h

Tabulka 3



Obr. 33 A. Omílačka



B. Komorová pec pro sušení

2.6.2 Nositelé zmetkovitosti

- Radius mimo toleranci

2.6.3 Nevýhody

- Nízká produktivita omílání

2.7 Optická kontrola

Optickou kontrolou rozumíme kontrolu čipů po omletí pod lupou dle chybovníku. Nařezané čipy ze substrátů se opticky na D5 nekontrolují.



Obr. 34 Pracoviště manuální optické kontroly

2.7.1 Produktivita např. velikosti 1210

- 2786 ks/ hod

2.7.2 Nositelé zmetkovitosti

Nejčastější optické vady



Obr. 35 A. Oranžové skvrny

B. Výlomky

C. Výlupky

2.7.3 Nevýhody

- Lidský faktor
- Nízká produktivita
- Nemožnost kontrolovat povrch ze všech šesti stran
- Nemožnost odhalení špatného radiusu
- Nemožnost odhalení kusů mimo specifikaci na rozměr

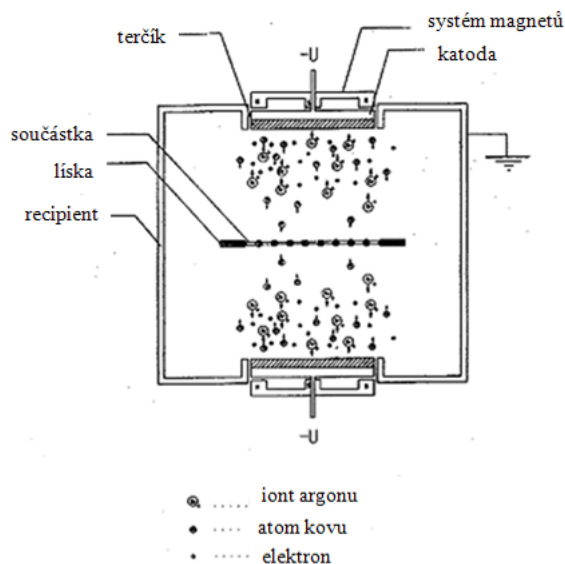
2.8 Proces naprašování - magnetronové naprašování

V procesní komoře (tlak argonu ca. 5×10^{-3} mbar) se vytvoří plazma ve formě kladně nabitých iontů argonu a volných elektronů a to pomocí přivedení stejnosměrného napětí. Kladně nabité argonové ionty se zrychlí směrem na záporně nabitý terčik. Pomocí systému magnetů se na zadní straně katody koncentrují elektrony před povrchem terčíku a tím se hustota plazmy před terčíkem zvyšuje.

Kinetická energie iontů je dostatečná k tomu, aby vyrazily kovové ionty z terčíku. Vytržené (vyprášené) kovové atomy se sráží na substrát, na stínící plechy a rovněž na naprašovací rám a na masky.

Tloušťka vrstvy je v zásadě závislá na následujících parametrech:

- materiál terčíku
- výkon katody
- tlak naprašování
- přepravní rychlost
- geometrie masky



Obr. 36 Schéma procesu naprašování

Mezi základní vrstvou pokovení a keramikou se musí vytvořit elektricky vodivé spojení (odbourání bránící vrstvy).

Používané kovy: chrom nikl, hliník nebo titan.

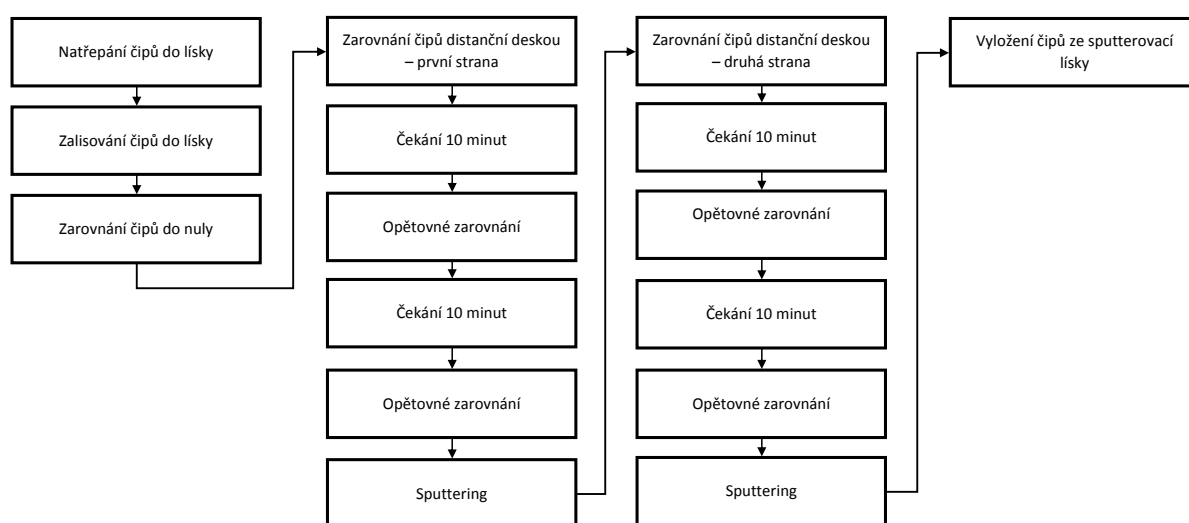


Obr. 37 A. Naprašovací stroj



B. Naprašovací líska

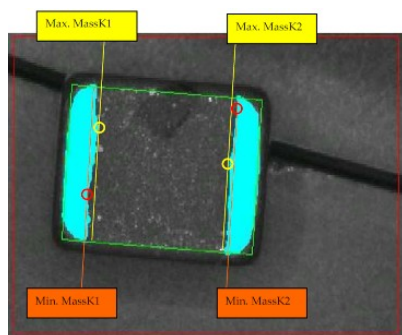
2.8.1 Standardní postup pro mass-k: velikost čipů 0805



2.8.2 Specifikace pro mass-k

Velikost čipů	Mass-k
0402	$(0,25 \pm 0,15)$ mm
0603	$(0,35 \pm 0,15)$ mm
0805	$(0,45 \pm 0,15)$ mm
1210	$(0,45 \pm 0,15)$ mm

Tabulka 4



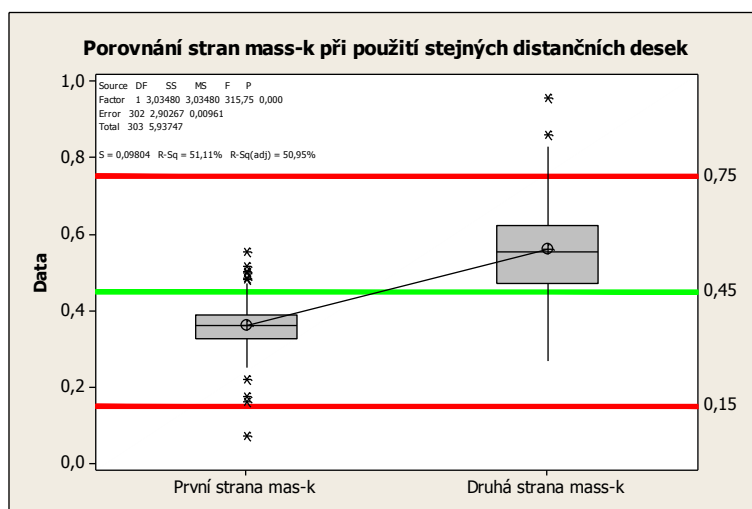
Obr. 38 Princip měření mass-k

$$\text{Min. Mass-K} = \text{Min} (\text{Min. MassK1}; \text{Min. MassK2})$$

$$\text{Max. Mass-K} = \text{Max} (\text{Max. MassK1}; \text{Max. MassK2})$$

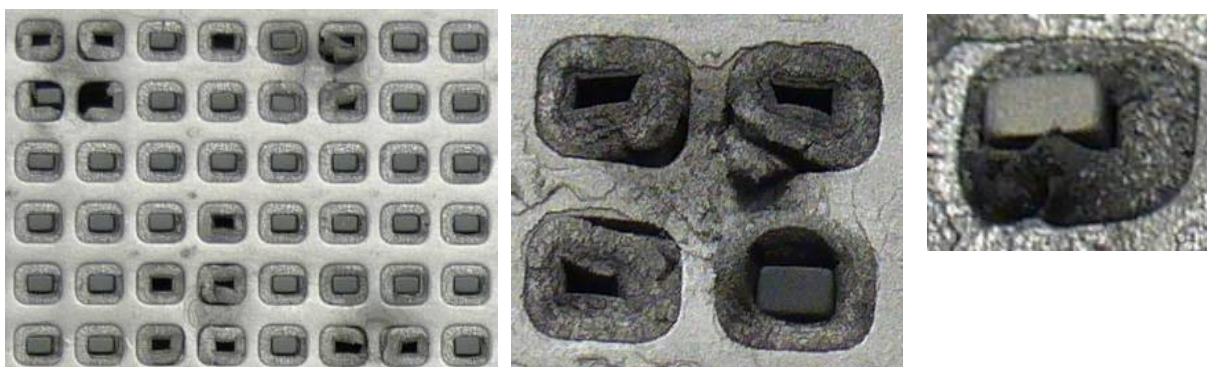
2.8.3 Nositelé zmetkovitosti

- Nesymetrické strany mass-k – signifikantní rozdíl mezi první a druhou stranou (p-hodnota = 0)

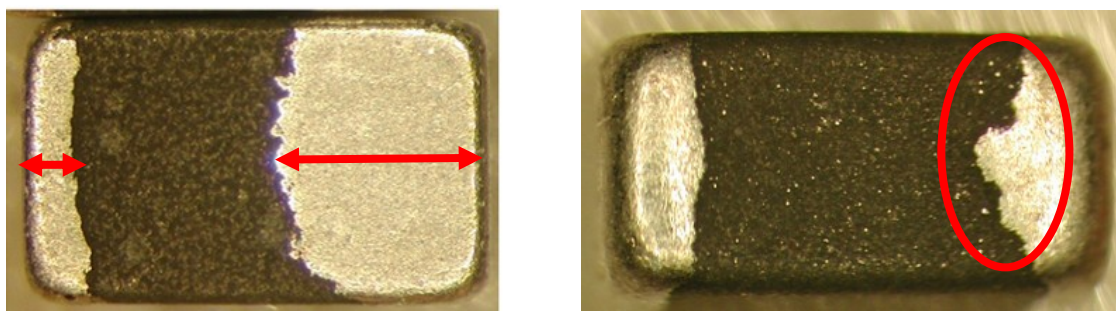


Vyhodnocení v Minitabu 5: ANOVA

- Přetečení (outliery) – poškozené gumičky na sputterovacích liskách



Obr. 39 Poškozené gumičky



Obr. 40 A. Nesymetrické strany mass-k

B. Přetečení

3 Návrhy řešení

V této kapitole vám bodově ukazují návrhy, které by mohly vést ke zvýšení kvality a produktivity na jednotlivých procesích. Detailněji bude každý bod rozebrán v kapitole realizace řešení. Procesy, u kterých není nutno zvyšovat kvalitu nebo produktivitu, nejsou zmíněny.

3.1 Lisování

- Stabilizace lisování čipů na P1
- Chybovník pro čipy separátně
- Opatření na lise proti kontaminaci
- Redukce ztrát granulátu

3.2 Výpal

- Zvýšení produktivity výpalu čipů na průběžných pecích výpalem na více pater
- Změna výstavby čipových substrátů
- Měření čipových substrátů na hraně

3.3 Omílání

- Výkonější omílačka
- Více omílacích bubnů

3.4 Optická kontrola

- Automatizace
- Nalezení příčin optických vad v předchozích procesech

3.5 Naprašování

- Nový dodavatel naprašovacích lísek
- Optimalizace produkce mass-k
- Zajistit symetrické mass-k na obou stranách čipu
- Minimalizace outlierů

3.6 Změna výrobního postupu pro velikost čipů 0805

- Velikost čipů 0805 ze substrátu

4 Realizace řešení

4.1 Lisování

4.1.1 Snížené rozptylu mezi jednotlivými razníky

Při měření výlisků z několika otáček lisu bylo zjištěno, že aktuální postup seřízení lisu a sestavení nástrojů není optimální pro snížení variability lisovacích parametrů, respektive rozdílů mezi razníky.

Napravné opatření:

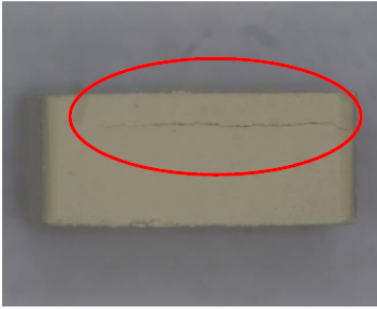

- Jednou za týden kontrola rozptylu mezi razníky specialistou lisování.

Postup:

Specialista změří tloušťku a hmotnost všech výlisků ze tří otáček lisu. V případě, že některý razník vykazuje odchylku 0,02 mm od střední hodnoty tloušťky, tak jej musí podložit dle předpisu.

4.1.2 Chybovník pro čipy separátně

Vzhledem k specifickým vadám u čipů, jsem připravil chybovník čipů v surovém stavu. V chybovníku jasné popsány příčiny vad a jak vadu odstranit.

VZOREK VADY	
	Zobrazení vady: Trhlina na boční straně výlisku Způsob kontroly: mikroskop Zvětšení: 16x
	Místo výskytu: Na boční straně čipů
Po výpalu 	Posuzovací kritérium: Vada není přípustná.
	Možné příčiny: Povolené matrice v karuselu Konkávní deformace horních razníků Délka razníku + adaptoru mimo toleranci Drsná plocha razníku Špatná pozice lisovacího kola
	Opatření: Výměna horních razníků Přebroušení a následné olapování razníků
	Effekty: Trhlina na boční straně čipu

Obr. 41 Ukázka vady z chybovníku

4.1.3 Preventivní opatření proti kontaminaci olejem

Za největší problém lze označit kontaminaci výlisků nebo granulátu olejem. Olej pochází od maziva, kterým se mažou adaptory horních razníků.

Preventivní opatření na lise:

- Plastové kloboučky



Obr. 42 Ukázka kloboučků

- Plechový mantinel na části karuselu pro vedení horních razníků



Obr. 43 Mantinel

- Zátky do otvorů pro vedení horních razníků



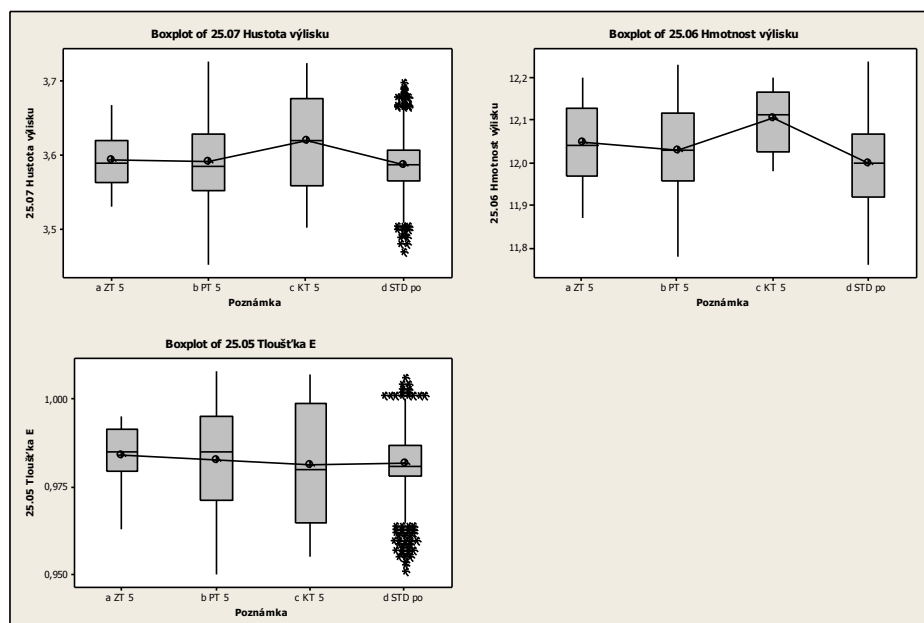
Obr. 44 Zátky

4.1.4 Prevence proti ztrátě granulátu

Při vyhodnocení zmetkovitosti bylo zjištěno, že ztáta granulátu je našim velkým problémem. Byl proveden test, kdy na odsávání byla připojena sběrná nádoba, která zachytávala granulát pouze ze sledovaného lisu. Zachycený granulát odpovídal zmetkovitosti za chybějící granulát a z toho důvodu byly provedeny následující testy s vypnutým odsáváním. Při testech se porovnával vliv vyplého odsávání na stabilitu lisovacích parametrů.

Test č.	Vypnuté odsávání [hod]	Zapnuté odsávání [min]
1	0,5	1
2	1	1
3	2	1
4	4	1
5	8	1

Tabulka 5



Vyhodnocení v Minitabu 6: Výsledek testu č. 5

V lisovacích parametrech není rozdíl, když je odsávání vynuto nebo zapnuto, a proto bylo na základě výsledků testů uvolněno nastavení dle testu č. 5.

4.2 Výpal

4.2.1 Výpal na více pater

Při výpalu čipů se nám vzhledem k volnému prostoru ve vypalové sestavě nabízí možnost výpalu na více pater. Úspora času by byla značným přínosem vzhledem k nárůstu typů s malým průměrem, které je možno vypalovat na jednodráhové peci.

Kritéria zavedení výpalu na více pater:

- Nezvýšení zmetkovitosti odporu
- Nezvyšování nákladů za pomocný materiál
- Zachování kvality produktu

Pro výpal na více pater lze zvolit pouze typ, který je stabilní při jednopatrovém výpalu, neboť lze předpokládat, že při zvýšení počtu pater se zvýší i rozptyl R25 a tím i zmetkovitost. Pro první test jsem zvolil typ velikosti 1210, který je stabilní a navýšení produktivity vzhledem k velkému množství zakázek má smysl.

Naplánování testů:

- Různé distance mezi patry
- Různý počet pater (počet pater je omezen výškou rámečku)

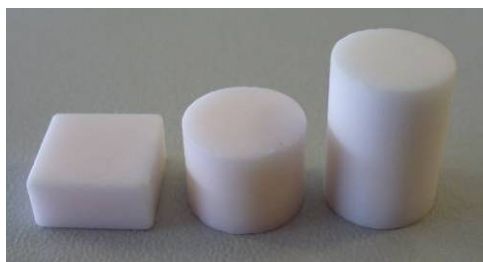
První testy byly prováděny v plné produkci daného typu, abychom zjistili, zda je to vůbec možné. První výsledky byly pozitivní, a jako největší problém se neukázal rozptyl odporu mezi patry a na aloxu, ale především zmetkovitost pomocného materiálu - aloxů, které se kroutily a prohýbaly. Takto poškozené aloxy již ve výrobě nelze použít. Nejvhodnější řešení situace bylo alox podložit rovnou deskou, který by zachovala rovinnost aloxu při vysoké teplotě.

Dostupné desky:

- Keramická deska (silimanit)
- Zirkonová deska

Distanční mezikus:

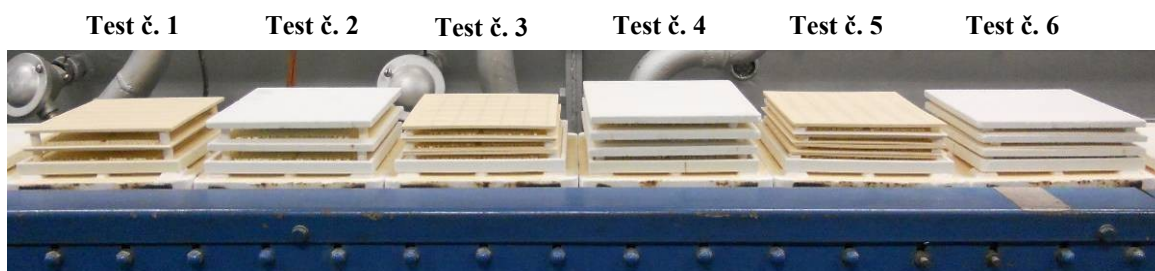
- Kostka - 5 mm
- Válečky dvou rozměrů – 8 mm; 13,5 mm



Obr. 45 Distanční mezikusy

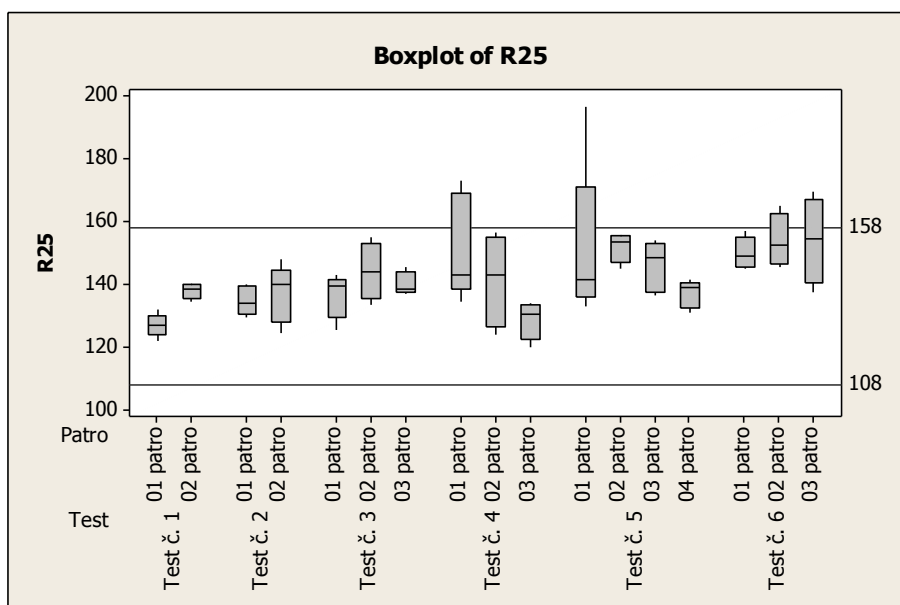
Test č.	Distance	Deska	Počet pater
1	13,5	Zirkonová	2
2	13,5	Keramická	2
3	8	Zirkonová	3
4	8	Keramická	3
5	5	Zirkonová	4
6	5	Keramická	3

Tabulka 6: Přehled testů

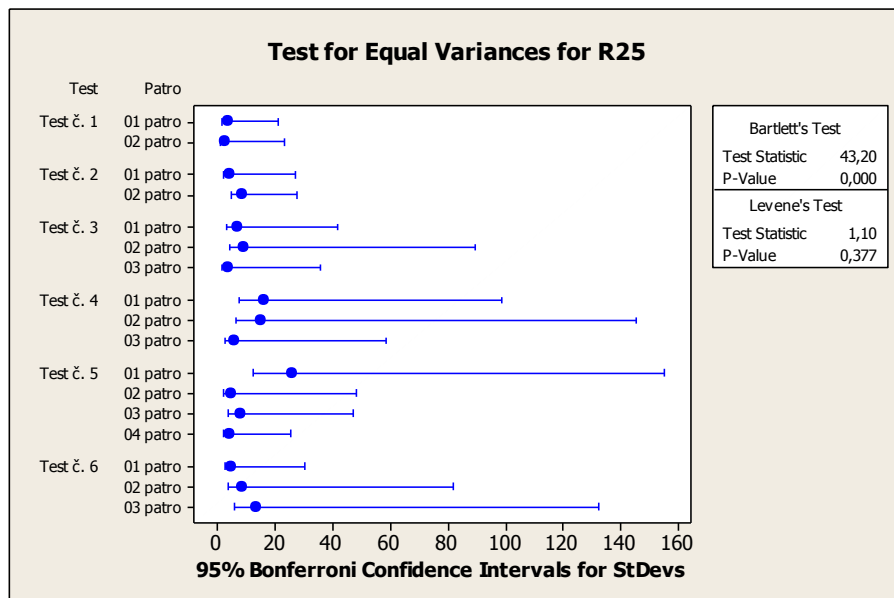


Obr. 46 Ukázka testů na více pater

Vyhodnocení testů:



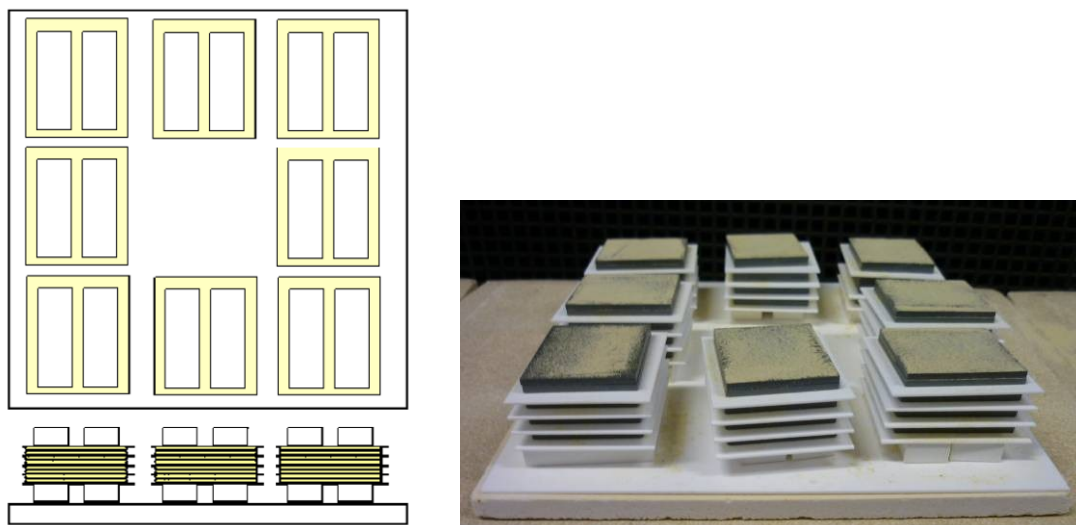
Vyhodnocení v Minitabu 7: Porovnání jednotlivých testů vůči toleranci



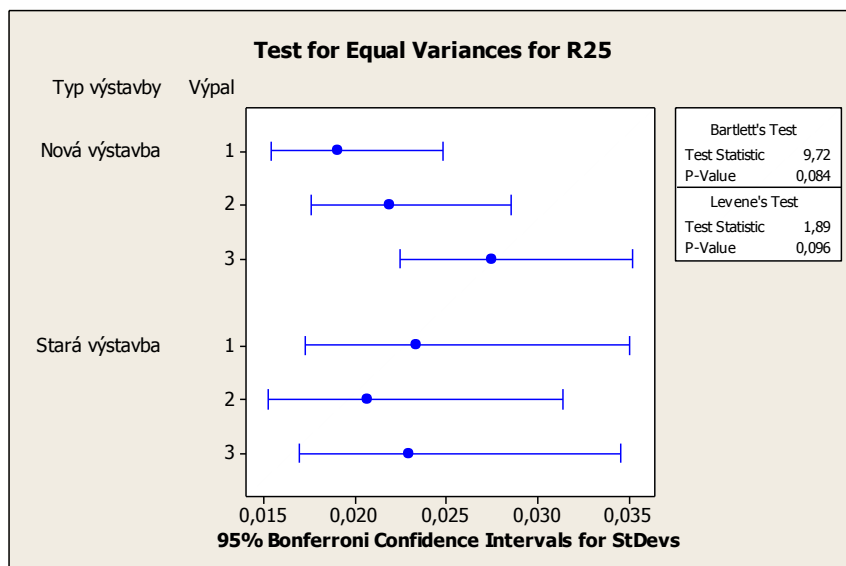
Vyhodnocení v Minitabu 8: Porovnání jednotlivých testů z hlediska rozptylu

Z jednotlivých testů se jako nejlepší ukázal výpal na dvě patra s použitím zirkonových desek. Zvýšení o 100% vůči standardu je v současné době zcela dostačující. Další zvýšení produktivity na výpalu by značně zvýšilo průběžnou dobu zakázky ve výrobě (lead time), neboť lis je z hlediska produktivity stejně rychlý jako pec při jednopatrovém výpalu.

4.2.2 Nová výstavba čipových substrátů – výstavba ve štočcích



Obr. 47 Schéma nové výstavby pro čipové substráty



Vyhodnocení v Minitabu 9: Porovnání výstaveb z hlediska rozptylu

Z porovnání rozptylu R25 hodnot substrátů z jednotlivých typů výstaveb vyplývá, že rozpyl je srovnatelný a v některých případech je nová výstavba lepší než doposud používaná.

Výhody:

- Navýšení počtu kusů z 30 na 64 kusů => nárůst produktivity o 113%
- Výstavbu připravují pracovníci lisovny => urychlení nakládky na výpalu
- Minimalizace prohnutí substrátu

Nevýhody:

- Vyšší zmetkovitost při nastavování – nutno startovat zakázky o větším počtu kusů

4.2.3 Měření čipových substrátů na hraně

V současné době se většina čipových substrátů měří 100% na ploše.

Měření na ploše má tyto nevýhody:

- Vyšší spotřeba pomocného materiálu (Inga)
- Dlouhá doba nátěru
- Vyšší nejistota měření z důvodu nízké hodnoty odporu

Měření na ploše lze nahradit za měření na hraně.

Měření na hraně má tyto výhody oproti měření na ploše:

- Nižší spotřeba (Inga)
- Kratší doba nátěru
- Nižší nepřesnost měření

Nyní se snažíme měření na ploše nahradit za měření na hraně. Postupuje tak, že separátně zpracujeme 3 substráty s rozdílnými hodnotami. Tyto kusy kompletně zpracujeme a dle finální střední hodnoty R25 vypočítáme optimální střední hodnotu substrátu.

Například:

Měření	R25 [Ohm]
Na ploše	0,19
Na hraně	66

Tabulka 7

4.3 Omílání + sušení

4.3.1 Výkonnější omílačka:

Parametry omílání:

- Počet otáček: 145 ± 5 ot/min
- Počet omílacích bubnů: 6

Časy omílání:

Velikost čipů	Množství kusů v bubnu	Čas omílání	Zvýšení produktivity oproti staré omílačce
1210	max. 400 ml	17 min	12 krát
0805	max. 400 ml	20 min	15 krát
0603	max. 400 ml	30 min	10 krát

Tabulka 8



Obr. 48 Nová omílačka

4.3.2 Navýšení počtu omílacích bubnů

V současné době nevyužíváme novou ani starou omílačku na 100% z důvodu nedostatku omílacích bubnů.

Do budoucna lze uvažovat o tomto navýšení:

Omílačka	Aktuální počet bubnů	Maximální počet bubnů	Navýšení produktivity
Stará	4	6	50%
Nová	6	16	166%

Tabulka 9

4.4 Optická kontrola

4.4.1 Automatizace

Automatizace procesu optické kontroly čipů byla nejvhodnější varianta pro zvýšení produktivity a efektivity třídění čipů velikosti 0805 a 1210.

S tříděním čipů má velké zkušenosti naše dceřiná společnost v Chorvatsku. Tamější třídící automaty provádí finální optickou kontrolu čipů: velikost mass-k + optickou kontrolu.

Na konci roku 2010 došlo tedy k transféru zařízení z Chorvatska a k nezbytnému upravení softwaru externí společností.



Obr. 49

A. Třídící automat



B. Detail automatu

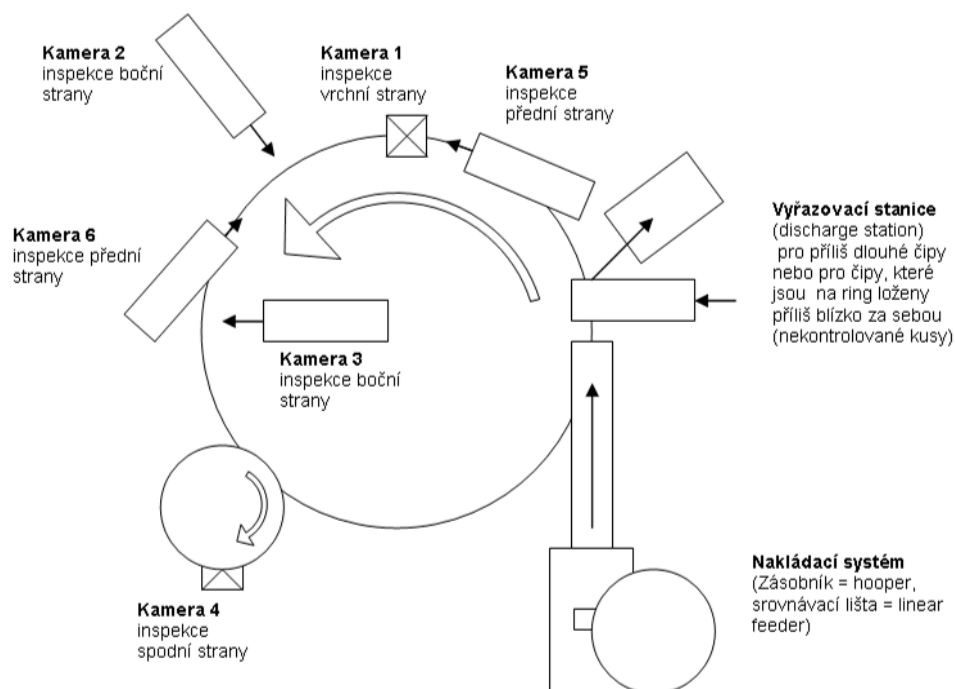


Obr. 50 Ukázka porovnávacího softwaru

Vysvětlivky k Obr. 50

- a) Název programu, verze softwaru a otevřený soubor pro kontrolu
- b) Šest oken s aktuálním zobrazením obrazu pod kamerou
- c) Parametry kontroly - algoritmy a revize statistik
- d) Parametry pro nastavení kamer a světel pro inspekci
- e) Parametry enkoderu – pozice kamer, senzorů a boxů pro špatné kusy

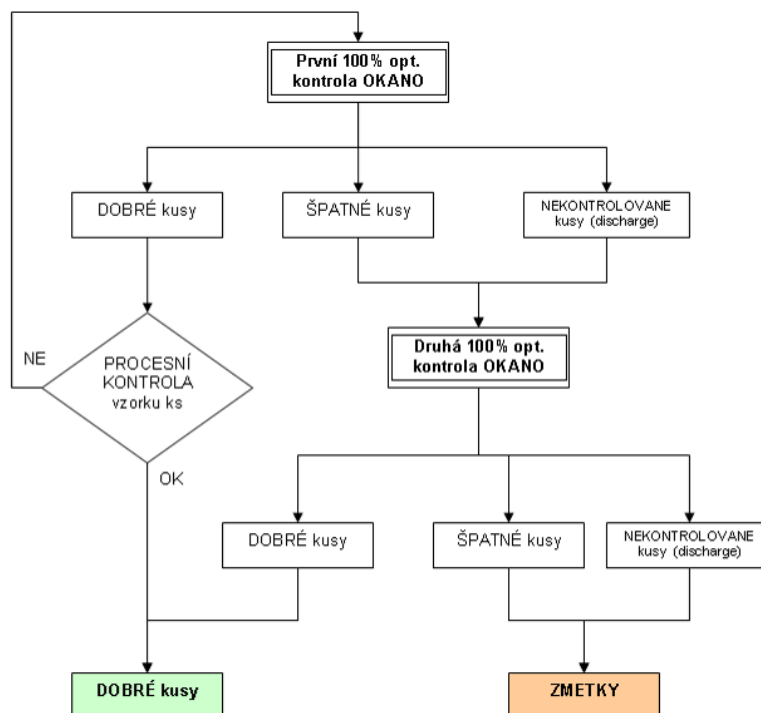
4.4.1.1 Schéma kontroly



Obr. 51 Schéma kontroly

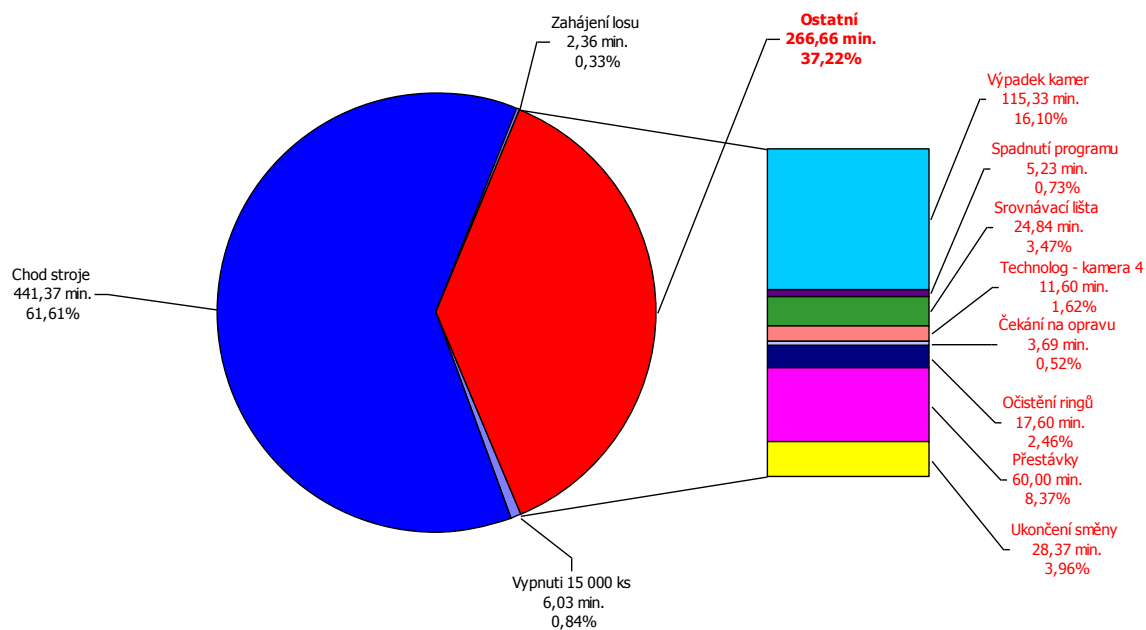
Čipy jsou nakládány na otočný ring přes lineární podavač a jsou přepravovány ke kamerám 5, 1, 2, 6, 3 pro inspekci. Pokud kamera označí typ jako špatný (NG) dle aktuálních nastavení, čip bude vyřazen pomocí vzduchové trysky do boxu pro špatné kusy do středu ringu. Po inspekci kamery 3 je kus přepraven přes vakuový ring ke kaměře 4. Po inspekci kamery 4 jsou čipy vyřazeny do boxu pro dobré nebo špatné kusy dle výsledku optické kontroly.

4.4.1.2 Schéma průběhu optické kontroly



4.4.1.3 Produktivita velikosti čipů 1210

**Strojní využití třídícího automatu ze snímku pracovního dne z 9.3.2011
průměrný takt 408 ks/ 1 minutu.**



Obr. 52 Časový snímek

4.4.2 Hledání příčiny výlupků

Prvním krokem bylo nalezení procesu, na kterém vada vzniká. Po kontrole určitého vzorku kusů po jednotlivých procesech bylo zjištěno, že vada vzniká při sušení čipů v komorové peci po omílání.

Úvaha o vzniku výlupků:

Při mytí čipů po omletí dochází k absorpci povrchu vlhkostí vzhledem k pórovitosti keramiky. Při sušení čipů dochází k pudkému zahřátí čipů při 250°C a tím i rychlému odpaření vlhkosti, což může mít za následek odtrhnutí (odloupnutí) části povrchu čipu (tzv. výlupek).

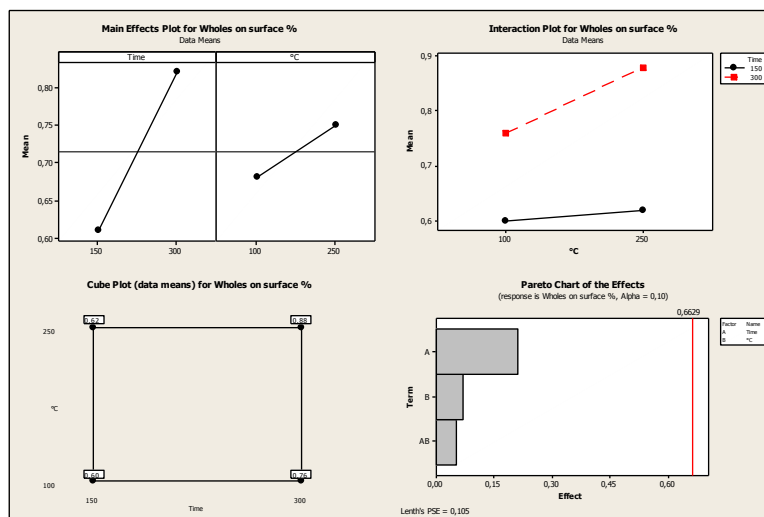
Plánovaný experiment: DOE

Posouzení vlivu teploty a výdrže v peci na % výlupků:

- 4 testy každý 5K čipů.

Test	Výdrž [min]	Teplota [°C]
1	150	100
2	300	100
3	150	250
4	300	250

Tabulka 10



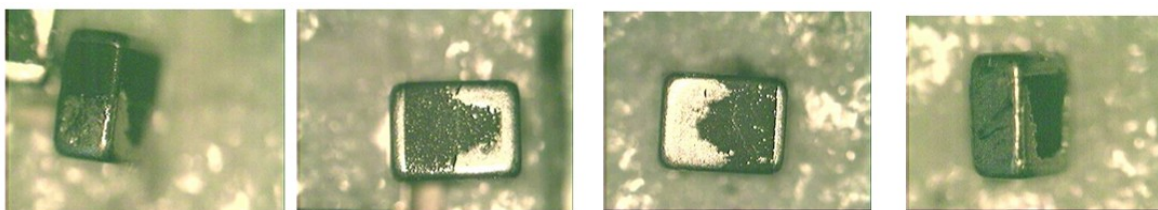
Vyhodnocení v Minitabu 10: DOE

Z testu bylo prokázáno, že na výlupky nemá vliv teplota ani výdrž v sušící peci. Při porovnání testů se standardní produkci, bylo zjištěno, že vliv na výlupky má počet kusů na síti při sušení. Vzhledem k výsledku testů bylo zadefinováno do pracovní instrukce, že čipy se musí sušit pouze v určitém počtu kusů na síti. Díky této akci se vada výlupek téměř nevyskytuje. Díky testům byla pravděpodobně zjištěna kořenová příčina (root cause).

4.5 Naprašování

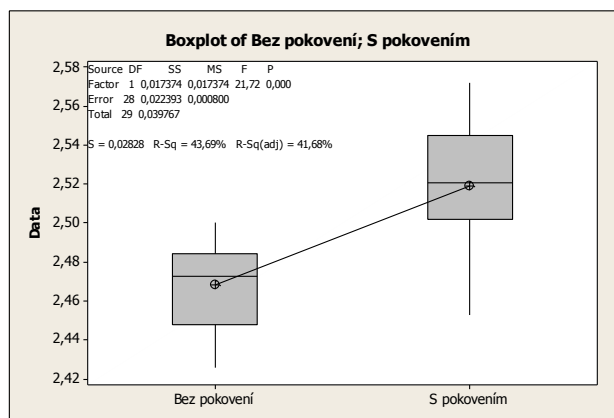
4.5.1 Nový dodavatel sputterovacích lísek

Vzhledem k velmi drahým sputterovacím lískám bylo rozhodnuto o změně dodavatele. Rakouského dodavatele měl nahradit výrobce z Taiwanu, který dodává lísky jiným divizím společnosti. Byla objednána testovací líska pro 3 velikosti čipů, každá velikost obsahovala 8 různých velikostí pro danou velikost. Nejprve byly provedeny testy pro velikost čipů 1210 na všech 8 otvorech. První testy, které byly nakládány manuálně, dopadli bez problému, a proto bylo objednáno několik setů sputterovacích lísek s vybraným rozměrem otvoru pro tuto velikost čipů. Po dodání, které trvalo několik měsíců, byly lísky ihned dány do výroby pro jeden výrobní los, který měl sloužit pro uvolnění lísek do výroby. První los ukázal novou vadu čipů – pokovení. Tato vada byla na 50 % výrobní zakázky.



Obr. 53 Ukázka vady – pokovení

Jako příčina se ukázala geometrie kusů a vzhledem k široké zákaznické toleranci jsme se rozhodli pro celkové zmenšení jednoho typu velikosti 1210. Zmenšení čipů hustotou nám zcela odstranila vadu na délce, ale na 20% kusů vada zůstala na šířce. Po porovnání zmetků a dobrých kusů, byl zjištěn signifikantní rozdíl v tloušťce. Další zmenšování již nebylo možné, vzhledem k tvrdosti a neflexibilně silikonu, který způsoboval propadávání menších kusů sputterovacími lískami. 20% zmetků na optickou zmetkovitost nebylo akceptovatelné, a proto jsme začali zmenšený typ třídit do dvou skupin dle rozměru na třídícím automatu na D5. Díky přetřídění jsme dosáhli optické zmetkovitosti na D9 5%, což již byl přijatelný výsledek.



Vyhodnocení v Minitabu 11: ANOVA

Vyhodnocení v minitabu ukázalo signifikantní rozdíl v šířce. Rozměr šířky má vliv na pokovení na délce.

S novým dodavatelem lísek jsme domluvili změnu silikonu a v současné době čekáme na dodání setu lísek. Toto změkšení silikonu by mělo vyřešit náš problém.

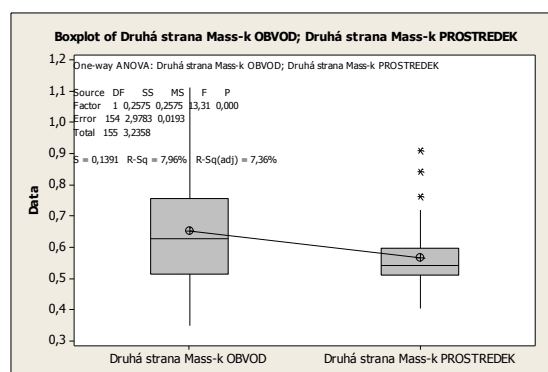
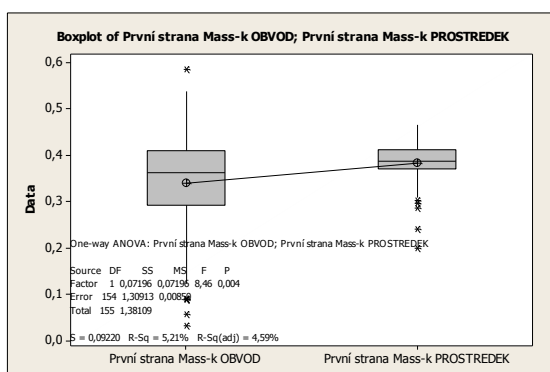
Největší chyba:

Bohužel bez ověření funkčnosti lísek ve výrobě byl přerušen kontakt s rakouským dodavatelem a v současné době se potýkáme se špatnou výtěžností mass-k u většiny čipů a nyní doufáme, že měkší silikon, nám přinese konečné vyřešení problematické situace kolem sputterovacích lísek.

4.5.2 Snížení outlierů u velikosti čipů 0805

4.5.2.1 Redukce outlireů z obvodu lísky

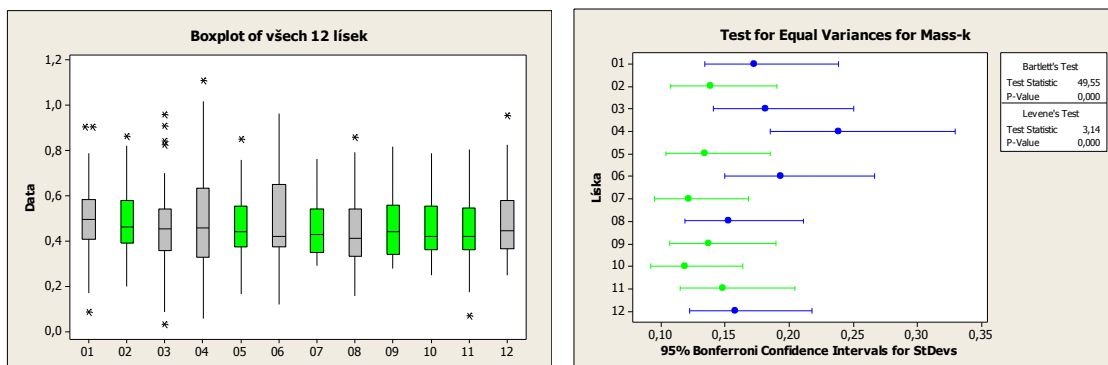
Při porovnání mass-k čipů po obvodu a uprostřed lísky je viditelné, že kusy po obvodu vykazují vyšší rozptyl velikosti mass-k. Z tohoto důvodu byly odebrány 2 řady nakládacích jehel, tudíž se 2 řady po obvodu lísky nepoužívají pro produkci.



Vyhodnocení v Minitabu 12: Rozdíl v Mass-k (Obvod vs Prostředek)

4.5.2.2 Výběr nejlepších lísek

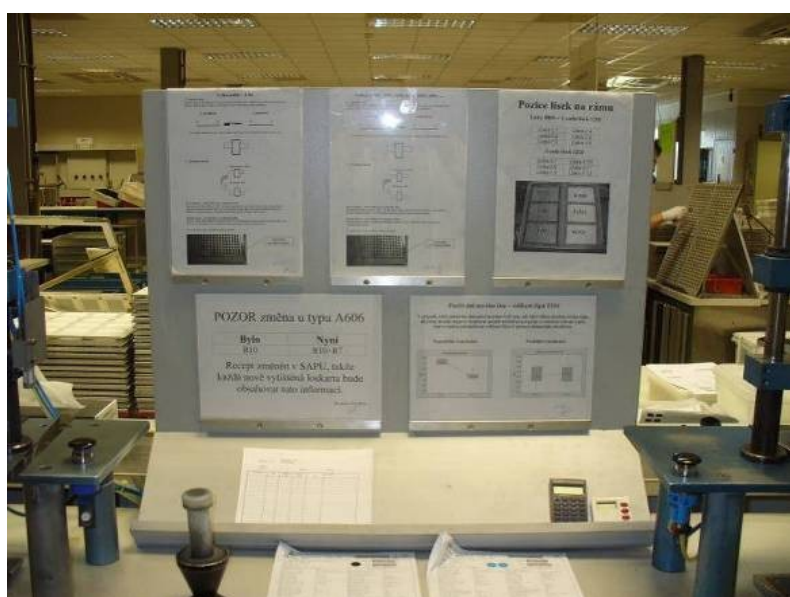
Pro produkci čipů velikosti 0805 jsme měli dostatek lísek, a proto jsme z 12 lísek vybrali 6 nejlepších. Při porovnávání lísek z hlediska střední hodnoty mass-k byly všechny lísky stejné a proto jsme lísky vyhodnotili z hlediska rozptylu velikosti mass-k. Šest lísek s nejlepším rozptylem bylo ponecháno ve výrobě, zbytek lísek byl z výroby vyřazen.



Vyhodnocení v Minitabu 13: Výběr šesti nelepších lísek

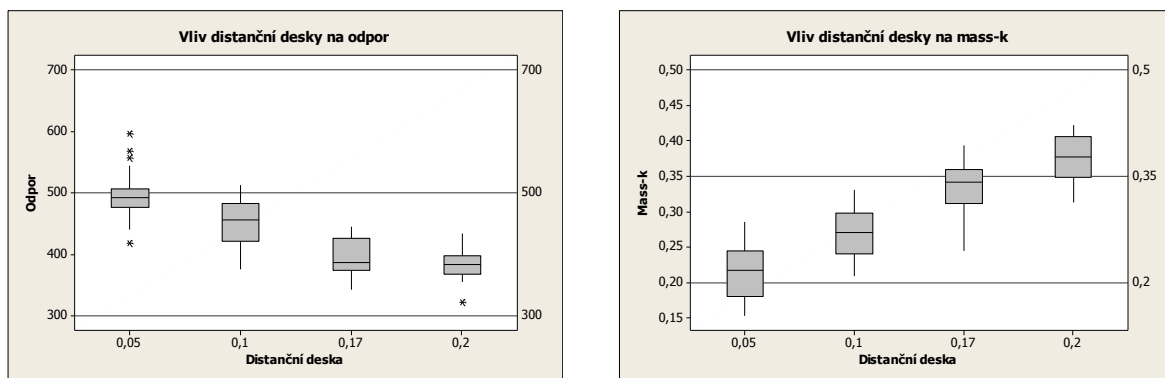
4.5.3 Informovanost operátorů

Při počáteční fázi snižování optické zmetkovitosti optimalizací velikosti mass-k byla spousta změn. Předávání aktuálních informací bylo velmi komplikované, a proto jsme umístili přímo na pracoviště nástěnku, na které jsou aktuální informace o používaných distančních deskách pro jednotlivé velikosti čipů. Mimo jiné, zde byl také přidán jasný postup produkce mass-k, neboť bylo zjištěno, že některé operátorky postupují nestandardně. Nástěnkou bylo docíleno, že operátorky mají vše potřebné ke své práci neustále přímo před sebou.



Obr. 54 Nástěnka na úseku naprašování

4.5.4 Vliv velikosti mass-k na odpor u velikosti čipů 0603



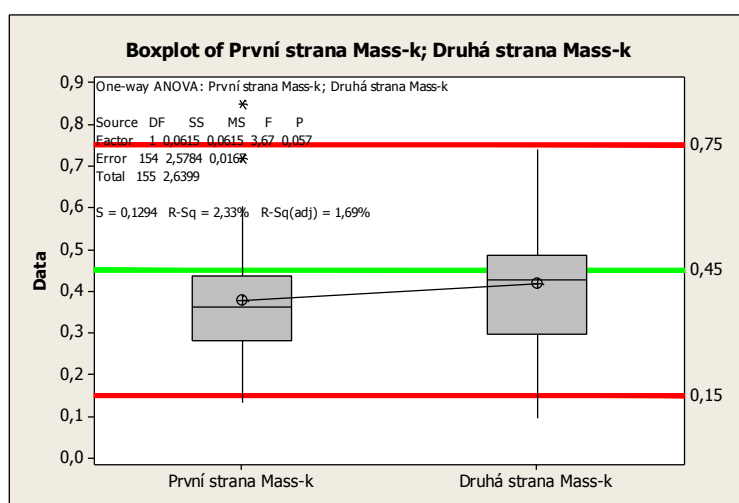
Vyhodnocení v Minitabu 14: Vliv distanční desky na odpor a mass-k

Z následujícího vyhodnocení lze uvažovat následovně:

- Při použití distanční desky 0,18 mm bude mass-k ve středu specifikace
- Aby mass-k byla v toleranci, je možno použít distanční desku od 0,08 – 0,23 mm
- V případě změny mass-k lze zvýšit nebo snížit odpor a to znamená, že v případě dělení čipových substrátů na výpalu do skupin dle odporu, lze rozšířit hranice. Každá třída by se na sputteringu zpracovala jinou distanční deskou a tím bychom na závěr dosáhli stejného odporu.

4.5.5 Použití rozdílných distančních desek pro jednotlivé strany mass-k

V případě používání stejných distančních lišt vykazuje mass-k signifikantní rozdíl mezi první a druhou stranou. Vzhledem k tomuto jevu došlo k úpravě postupu pro určité velikosti čipů. První strana mass-k se dělá rozdílnou distanční deskou než první strana.

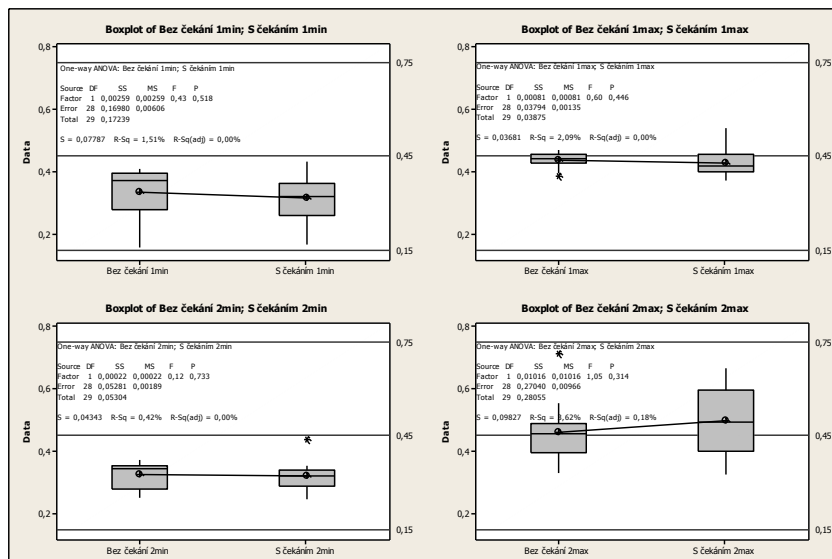


Vyhodnocení v Minitabu 15: ANOVA (po změně)

P-hodnota $>0,05$ = mezi stranami není signifikantní rozdíl = strany jsou stejné

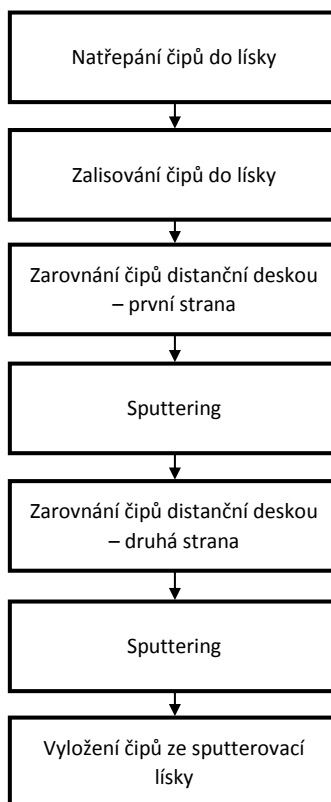
4.5.6 Optimalizace procesu mass-k pro 0805

U velikosti čipů 0805 bylo oproti ostatním velikostem čipů čekání 2 x 10 minut/ strana. (kapitola 2.8.1). Provedl jsem srovnání postupu s čekáním a bez čekání. Dle vyhodnocení v minitabu není v postupu signifikantní rozdíl, a proto jsem postup změnil.



Vyhodnocení v Minitabu 16: Srovnání min. a max. jednotlivých stran při čekání a bez čekání

Nový postup pro velikost 0805:



4.6 Velikost čipů 0805 ze substrátu

Vzhledem k odporově vysokým obvodovým kusům a velké variabilitě rozměru jsme přišli s myšlenkou vyrábět velikost čipů 0805 ze substrátu, stejně jako menší velikosti čipů.

Výhody:

- Stop lisování nejmenší geometrie výlisků
- Žádné vysoké kusy po obvodu lodičky => snížení R25 zmetkovitosti
- Zastavení optické kontroly D5 => žádné optické zmetky na D5
- Velmi malá variabilita rozměru => pozitivní vliv na Mass-k a R25
- Možnost záchrany substrátů mimo specifikaci změnou lapovací tloušťky
- Nižší náklady oproti standardu

Nevýhody:

- Zákaznické uvolnění z důvodu změny procesu (automobilový průmysl)
- Delší doba zavedení

Velikost čipů 0805 se používají převážně v automobilovém průmyslu a při změně procesu je nutno informovat zákazníka, provést zákaznické uvolnění a nezbytné testy, které zákazníka přesvědčí o tom, že změna výrobního postupu nemá vliv na kvalitu produktu.

V současné době probíhají testy produkce čipových substrátů na průběžné a komorové peci. První výsledky jsou pozitivní, ale čeká nás ještě spousta práce, než bude změna finálně aplikována do výroby.

5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Hlavním cílem této diplomové práce bylo nalezení původu zmetkovitosti, detekce příčiny a zavedení nápravných opatření při výrobě PTC čipů a to současně se zvýšením produktivity.

V řadě výrobních úseků byly udělány kroky směrem k dosažení dobrého výsledku a to na výpalu, omílání a na optické kontrole D5.

1. Výpal čipů má toho spoustu za sebou a ještě více před sebou. Za zmínku stojí nová výstavba čipových substrátů, výpal na patra a měření čipových substrátů na hraně.
2. Transfer výkonnější omílačky byl velmi vhodný a nezbytný. Produktivita na tomto úseku rapidně stoupla, což nám velmi pomohlo a vyřešilo náš kapacitní problém.
3. Po zavedení automatizace na optické kontrole jsme prozatím na začátku, neboť naše zkušenosti s třídícím automatem nejsou moc velké. Věřím, že s postupem času získáme zkušenosti, které nám pomohou k vyšší výtěžnosti výrobních zakázek a k ještě větší produktivitě.

Osobně si myslím, že našim největším problémem jsou sputterovací lísky a až se nám podaří vyřešit tento déle trvající problém, tak lze očekávat razantní snížení zmetkovitosti. V současné době čekáme na dodání lísek s měkčím silikonem, které by náš problém měly vyřešit, ale to uvidíme, až lísky otestujeme ve výrobě.

Dále je také potřeba vyzdvihnout plánovaný přechod z jednotlivě lisovaných čipů na substrát u velikosti 0805. Pokud se nám tato změna podaří, tak to bude mít obrovský vliv na plánování a produktivitu pozitivním směrem.

Dosažené úspory:

1. Transfer výkonější omílačky:

Měsíc	Vyčíslení úspor v €			
	doba omílání na staré (min)	doba omílání na nové (min)	úspora v minutách	ÚSPORA v €
leden 11	3 360	272	3 088	834 €
únor 11	6 660	552	6 108	1 649 €
březen 11	14 580	995	13 585	3 668 €
duben 11	17 790	1 503	16 287	4 397 €

Tabulka 11 Přehled úspor za jednotlivé měsíce

Během prvních měsíců roku 2011 jsme novou omílačku převážně testovaly, proto je úspora menší např. oproti dubnu. Úspora za jednotlivé měsíce značně závisí na počtu omletých kusů. Předpoklad je, že na redukci času ušetříme minimálně **36000 €/ rok**.

2. Transfer třídícího automatu

Úspora v první řadě závisí na počtu kontrolovaných kusů.

	Velikost 1210	Velikost 805
Manuální třízení (10000 ks)	10,75 €	16,02 €
Třídící automat (10000 ks)	4,62 €	2,20 €
úspora/10000 ks	6,13 €	13,82 €

Tabulka 12 Úspora při automatizaci optického třídění

Úspora za automatizaci se pohybuje v řádech 10000 €/ rok. Přesné číslo nemůže být zveřejněno z interních důvodů firmy Epcos s.r.o..

3. Snížení zmetkovitosti u velikosti čipů 1210

Každý měsíc vyhodnocujeme úsporu před zavedením nápravných opatření a po zavedení. Současný trend zmetkovitosti ukazuje úsporu **44000 €/ rok**. Úspora bude značně vyšší po zavedení lísek od nového dodavatele pro všechny typy velikosti 1210.

Úspory z ostatních vylepšení ještě nejsou vyhodnoceny, protože ještě nebyly kompletně implementovány do výroby.

Závěrem lze konstatovat, že řada kroků ke snížení zmetkovitosti a k zvýšení produktivity již byla provedena, ale naše cíle jsou daleko vyšší a v kontinuálním zlepšování procesů je nutno neustále pokračovat a rozhodně nepolevit, protože daleko vyšší nárůst zakázek je pravděpodobný a na to musíme být dostatečně připraveni.

6 Seznam použité literatury

1. Interní předpisy firmy Epcos s.r.o.
2. <http://www.vlastnicesta.cz/akademie/kvalita-system-kvality/kvalita-system-kvality-metody/paretova-analyza/>
3. Materiály ze školení Six Sigma – Green belt firmy SC&C partner
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Boxplot>
5. Haayman, P. W.; Dam, R. W.; Klasens, H. A.: Verfahren zur Herstellung halbleitenden Materials. DBP 929 350 (1955)
6. Heywang, W.: Resistivity Anomaly in doped barium titanite. J. Am. Ceram. Soc. 47 (1964) 484 - 490.
7. Rehme, H.: Abbildung elektrischer Mikrofelder im Emissions-Elektronenmikroskop. Z. Angew. Phys. 29 (1970) 173 – 180.
8. Levin, E. M.; Robbins, C. R.; Mc Murdie, H. F.: Phase Diagrams for ceramists. Am. Ceram. Soc. 1964, Fig. 213; Suppl. 1975, Fig. 4302
9. Gerthsen, P.; Groth, R.; Härdtl, K. H.: Halbleitereigenschaften des BaTiO₃ im Polaronenbild. Phys. Status Solidi 11 (1965) 303 – 311.
10. Heywang, W.: Bariumtitanat als Sperrschichtableiter. Solid State Electron. 3(1961) 51 – 58.
11. Jonker, G. H.: Some aspects of semiconducting barium titanite. Solid State Electron. 7 (1964) 895 – 903.
12. Brauer, H.: Korngrenzsperrschichten in BaTiO₃-Keramik mit hoher effektiver Dielektrizitätskonstante. Z. Angew. Phys. 29 (1970) 202 – 287.
13. Brauer, H.: Zur Frage der Oberflächenterme in BaTiO₃-Kaltleitern. Z. Angew. Phys. 23 (1967) 373 – 376.
14. Daniels, J.; Härdtl, K. H.: Electrical conductivity at high temperatures of donor-doped barium titanite ceramics. Philips Res. Rep. 31 (1976) 489 – 504.
15. Wernicke, R.: The kinetics of equilibrium restoration in barium titanate ceramics. Philips Res. Rep. 31 (1976) 526 – 543.
16. Daniels, J.; Wernicke, R.: New aspects of an improved PTC model. Philips Res. Rep. 31 (1976) 544 – 559.
17. Hanke, L.: Theorie der Sperrschichteffekte in halbleitender Bariumtitanat-Keramik. Siemens Forsch.- u. Entwickl. – Ber. 8 (1979) 209 – 213.
18. Hatzinger, G.: Elektronische Überfallsicherung für Kraftstofftanks. Siemens Bauteile-Inform. (1965) 4 -6, 20 – 23.

- 19.** Bonnet, K. F.: Kaltleiter ermöglichen die kontinuierliche Kraftstoffverbrauchsmessung in Fahrzeugen. Automobiltech. Z. 80 (1978) 291 – 292.
- 20.** Kupka, K.; Ramisch, E.; Reeb, H.-J.: Langzeitkonstanz von Temperaturfühlern aus Kaltleiterkeramik für Quarzthermostate. Int. Elektron. Rundsch. (1969) 284 – 286.
- 21.** Meixner, H.: Heizeinrichtung mit einem optimierten Heizelement aus Kaltleitermaterial. DBP 27 43 880 (1979).